

MODELACIÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL DE  
LA URBANIZACIÓN PLAZA MADRID MEDIANTE EL SOFTWARE EPA SWMM

ING. MARIBEL VARGAS VALBUENA  
ING. RODRIGO VILLEGAS ANGARITA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS  
BOGOTÁ  
2013

APLICACIÓN MODELO HIDRÁULICO DE ALCANTARILLADO MEDIANTE EL  
SOFTWARE EPA SWMM DE LA URBANIZACIÓN PLAZA MADRID

ING. MARIBEL VARGAS VALBUENA  
ING. RODRIGO VILLEGAS ANGARITA

PROYECTO DE GRADO  
TUTOR  
ING. JORGE ALBERTO VALERO FANDIÑO

ING. JORGE ALBERTO VALERO FANDIÑO  
COORDINADOR DE LA ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS  
BOGOTÁ  
2013



## Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

### **Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

#### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

#### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

## TABLA DE CONTENIDO

### INTRODUCCIÓN

1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN .....	1
2.	OBJETIVOS .....	2
2.1	OBJETIVO GENERAL .....	2
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
3.	METODOLOGÍA .....	3
4.	MARCOS DE REFERENCIA .....	4
4.1	MARCO GEOGRÁFICO .....	4
4.2	MARCO ECONÓMICO .....	6
4.3	MARCO DEMOGRÁFICO .....	7
4.4	MARCO CONCEPTUAL .....	8
4.4.1	DESCRIPCIÓN SOFTWARE EPA SWMM .....	8
4.4.2	MÓDULO HIDROLÓGICO .....	10
4.4.3	MÓDULO HIDRÁULICO .....	11
4.4.4	MÓDULO DE CALIDAD .....	12
5.	MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO .....	14
5.1	PARÁMETROS DE DISEÑO .....	14
5.1.1	NIVEL DE COMPLEJIDAD .....	14
5.1.2	DOTACIÓN NETA .....	15
5.1.3	COEFICIENTE DE RETORNO .....	15
5.1.4	CONTRIBUCIONES DOMESTICAS QD .....	16
5.1.5	CONSUMO MEDIO DIARIO POR HABITANTE (C) .....	16
5.1.6	CONTRIBUCIONES INDUSTRIALES (QI) .....	17
5.1.7	CONTRIBUCIONES COMERCIALES (QC) .....	17
5.1.8	CONTRIBUCIONES INSTITUCIONALES (QIN) .....	18
5.1.9	CAUDAL MEDIO DIARIO DE AGUAS RESIDUALES (QMD) .....	19
5.1.10	CONEXIONES ERRADAS (QCE) .....	19
5.1.11	INFILTRACIONES .....	20
5.1.12	CAUDAL MÁXIMO HORARIO (QMH) .....	21
5.1.13	CAUDAL DE DISEÑO (QDT) .....	23
5.1.14	DIÁMETROS MÍNIMOS .....	23
5.1.15	VELOCIDADES MÁXIMAS Y MÍNIMAS .....	24
5.1.16	ESFUERZO CORTANTE .....	25

5.1.17	PROFUNDIDADES MÁXIMAS Y MÍNIMAS DE COLECTORES .....	25
5.1.17.1	PROFUNDIDADES MÍNIMAS DE COLECTORES A LA COTA CLAVE .....	25
5.1.17.2	PROFUNDIDAD MÁXIMA DE COLECTORES A LA COTA CLAVE.....	26
5.2	MODELO, SIMULACION .....	27
5.2.1	MODELO.....	27
5.2.2	SIMULACIÓN.....	31
6	MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL.....	34
6.1	PARÁMETROS DE DISEÑO .....	34
6.1.1	CAUDALES AGUAS LLUVIAS .....	34
6.1.2	PERÍODO DE RETORNO.....	35
6.1.3	COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA .....	36
6.2	MODELO, SIMULACION .....	36
6.2.1	METODO DEL BLOQUE ALTERNO .....	37
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
	BIBLIOGRAFÍA .....	46
	ANEXOS .....	47

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Nivel de Complejidad del Sistema (Tabla A.3.1 - RAS 2000) .....	14
Tabla 2 Dotación Neta Máxima.....	15
Tabla 3 Coeficiente de Retorno .....	15
Tabla 4 Dotación Neta Afectada por el coeficiente de Retorno .....	16
Tabla 5 Consumo medio diario por habitante .....	16
Tabla 6 Parámetros para el Cálculo de las Contribuciones Domesticas .....	17
Tabla 7 Contribuciones Industriales.....	17
Tabla 8 Contribuciones Comerciales.....	18
Tabla 9 Caudal Comercial.....	18
Tabla 10 Contribuciones Institucionales .....	18
Tabla 11 Caudal Institucional.....	19
Tabla 12 Caudal Medio Diario de Aguas Residuales .....	19
Tabla 13 Caudal Medio Diario .....	19
Tabla 14 Aportes máximos por conexiones erradas con sistema pluvial .....	20
Tabla 15 Conexiones erradas .....	20
Tabla 16 Aportes por filtración al Sistema aguas residuales .....	21
Tabla 17 Caudal Infiltración .....	21
Tabla 18 Factores de Mayoración.....	22
Tabla 19 Factor de Mayoración .....	22
Tabla 20 Caudal Máximo Horario .....	22
Tabla 21 Caudal mínimo de Diseño por tramo .....	23
Tabla 22 Caudal mínimo de Diseño.....	23
Tabla 23 Diámetro mínimo de Diseño .....	24
Tabla 24 Velocidad mínima de Diseño.....	24
Tabla 25 Esfuerzo Cortante mínimo .....	25
Tabla 26 Profundidad Mínima a Cota Clave.....	26
Tabla 27 Profundidades Mínimas para el proyecto .....	26
Tabla 28 Profundidad Máxima de colectores .....	26
Tabla 29 Caudales por tramo .....	27
Tabla 30 Períodos de Retorno Según el Grado de Protección .....	35
Tabla 31 Coeficientes de Escorrentía.....	36
Tabla 32 Valores de Precipitación.....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 localización municipio de madrid .....	4
Figura 2 Ubicación Proyecto .....	6
Figura 3 Plano de Urbanismo .....	7
Figura 4 Modelo de Entrada Epa Swmm.....	8
Figura 5 Módulo de Hidrologia. ....	10
Figura 6 Modulo Hidraulico.....	11
Figura 7 Modulo Calidad. ....	12
Figura 8 Modelo Sanitario (Nodos, tramos, aportes). ....	28
Figura 9 Modelo Sanitario (Longitudes, cotas, pendientes). ....	29
Figura 10 Modelo Sanitario (Diámetros). ....	30
Figura 11 Modelo Sanitario (Relacion de caudales $Q_{dis}/Q_{tubo\ lleno}$ ).....	32
Figura 12 Perfil Colector Sanitario. ....	33
Figura 13 Curvas Intensidad – Frecuencia - Duracion. ....	35
Figura 14 Hietograma. ....	38
Figura 15 Modelo Pluvial. (Nodos, Tramos, subcuencas,etc) .....	39
Figura 16 Modelo Pluvial. (Pendientes, cotas, areas sub cuencas) .....	40
Figura 17 Modelo Pluvial. (Diametros colectores, altura de nodos) .....	41
Figura 18 Modelo Pluvial. Velocidades en los tramos. ....	42
Figura 19 Modelo Pluvial. Capacidad – Relaciones de $Q_{dis}/Q_{lleno}$ . ....	43
Figura 20 Modelo Pluvial. (Perfil colector Pluvial) .....	44

## ANEXOS

ANEXOS A.....	a
---------------	---



## INTRODUCCIÓN

Con el crecimiento de las poblaciones circundantes a la ciudad de Bogotá, se hace necesaria la proyección de proyectos de vivienda como urbanizaciones, a los cuales se les debe ofrecer los servicios básicos como lo son el servicio de agua potable y alcantarillado. Es por eso que la presente propuesta contempla los modelos Hidráulicos para las redes de Alcantarillado Sanitario y Pluvial de la Urbanización “Plaza Madrid” Ubicada en el Municipio de Madrid.

El contenido del actual documento se ha elaborado teniendo en cuenta las disposiciones del Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico- RAS y la utilización de los programas de modelación para los sistemas de Alcantarillado Sanitario y Pluvial (Epa Smww).

En el presente Documento se hace una descripción de la localización, el estudio de población y demanda de agua y diferentes estudios complementarios de los componentes del sistema Alcantarillado, lo que configura una herramienta fundamental del proyecto.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Debido al desplazamiento de las poblaciones de las Zonas Rurales a las zonas Urbanas, sumado al crecimiento de la población en la mayoría de los municipios de nuestro país, se hace necesario el planteamiento de soluciones de vivienda los cuales deben contar con los servicios públicos necesarios para mejorar la calidad de vida de los usuarios.

Específicamente el caso de la Urbanización Plaza Madrid aportaría solución de vivienda a por lo menos Cuatrocientas cincuenta personas (450 Hab), el cual deberá contar con todos los servicios básicos necesarios, por tal razón se hace necesario modelar mediante un software específico las redes de alcantarillado sanitario y Pluvial.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Modelar la red de alcantarillado Sanitario y Pluvial de la Urbanización “Plaza Madrid” mediante el software Epa Swmm.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Consultar la información básica como cartografía, topografía de Redes existentes, hidrología, y algunos temas básicos de la población y del municipio como aspectos económicos, demográficos, etc.
- Realizar los cálculos hidráulicos básicos como parte de los insumos para alimentar los modelos de epa swmm.
- Realizar y correr los modelos Hidráulicos de las redes proyectadas de los sistemas de Alcantarillados (sanitario y pluvial), con el fin de obtener los resultados adecuados y poderlos comparar con los parámetros definidos por el RAS 2000.

### 3. METODOLOGÍA

La metodología a utilizar es la definida por el Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento ras en sus títulos: A Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico, título B Sistemas de acueducto, Título D sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales.

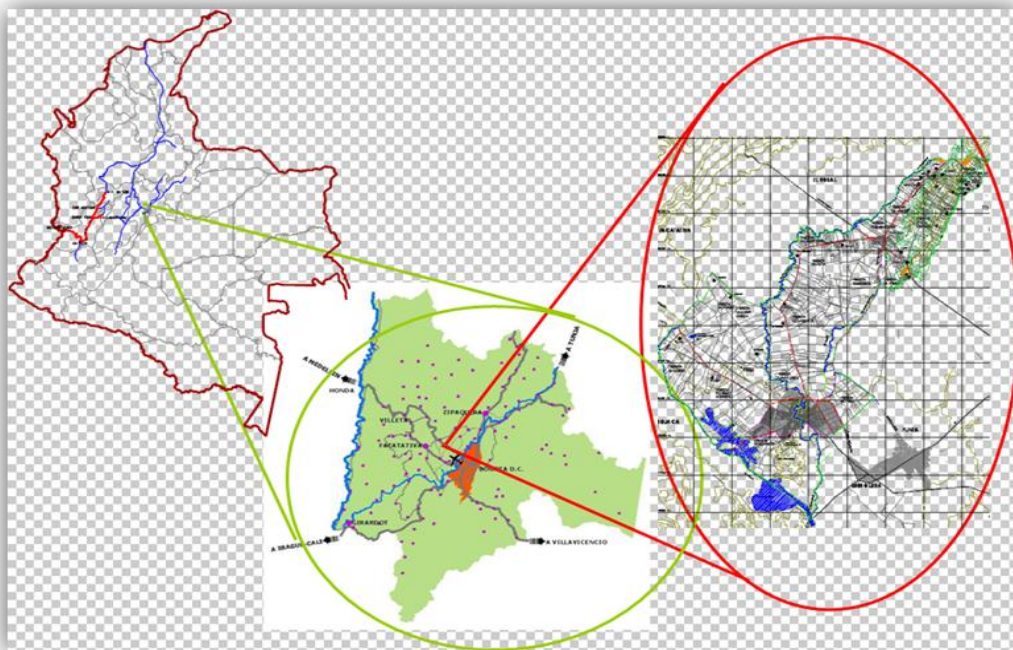
Con base en esta metodología se tendrán los resultados iniciales de caudales, consumos y demás a así tener todos los elementos básicos para crear los modelos de alcantarillado.

#### 4. MARCOS DE REFERENCIA

El trabajo está basado en la modelación de los sistemas sanitario y pluvial para una urbanización ubicada en el municipio de Madrid, al cual se realizó la investigación de todos sus componentes como son Marco geográfico, Económico, Demográfico, Conceptual, y todos los elementos necesarios para tal fin.

##### 4.1 MARCO GEOGRÁFICO

**Figura 1 localizacion municipio de madrid**



**Fuente (<http://madrid-cundinamarca.gov.co>)**

El municipio de Madrid se encuentra ubicado al occidente de la sabana de Bogotá, sobre el eje vial troncal de occidente que une a Medellín con Bogotá, se encuentra 29 kilómetros de la ciudad de Bogotá.<sup>1</sup>

- Extensión total: 120.5 Km<sup>2</sup>
- Extensión área urbana: 7.5 Km<sup>2</sup>
- Extensión área rural: 113 Km<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PLAN BÁSICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE MADRID, CUNDINAMARCA , 1999 .p. 32

- Altitud de la cabecera municipal (m. s. n. m): 2.554
- Temperatura media: 14 ° C
- Distancia de referencia: a 21 kilómetros de Bogotá

El municipio de Madrid limita por el norte y noroeste, con Subachoque, por el noroeste con Facatativá y El Rosal, por el occidente con Bojacá y Facatativá, por el oriente con Mosquera y Funza y por el noroeste con Tenjo.

El Municipio de Madrid se comunica con dos Municipios más, por el Noroccidente a 8 km con el Municipio de Facatativá y por él sur a 3 km del Municipio de Mosquera por una carretera pavimentada y en perfecto estado.

En su posición geo-astronómica la cabecera Municipal, se encuentra determinada por las Coordenadas 4°4'44" de latitud Norte y a 74°16'06" de longitud Oeste, respecto al meridiano de Greenwich, formado parte de la provincia de la sabana Occidente, junto con los municipios de Mosquera, Funza, Bojaca, Subachoque, El rosal, Sibate, Zipacón, Tenjo y como cabecera provincial Facatativá.<sup>2</sup>

Específicamente “La urbanización Plaza Madrid” se encuentra localizada en el Municipio de Madrid entre las calles 1 y la Calle 1 B y la Kra 1A y Kra 5, posee un área de 10771,13 m<sup>2</sup> conformada por 90 predios y locales.

---

<sup>2</sup>ALCALDÍA MUNICIPAL DE MADRID CUNDINAMARCA,2008.(citado.,2008). Disponible en internet [http://www.planeacion.cundinamarca.gov.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pdm\\_2008\\_2011%20madrid.pdf](http://www.planeacion.cundinamarca.gov.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pdm_2008_2011%20madrid.pdf).

**Figura 2 Ubicación Proyecto**



**Fuente (<http://madrid-cundinamarca.gov.co>)**

#### 4.2 MARCO ECONÓMICO<sup>3</sup>

El municipio de Madrid está caracterizado por un fuerte desarrollo industrial a lo largo de la Carretera de Occidente, que conduce de Bogotá a Facatativa y sobre el cual se encuentra el casco urbano. La vereda Puente de Piedra es el punto que articula las relaciones entre los sectores norte y sur del municipio y de éstos con la región a través de la Autopista Bogotá -Medellín y el desvío a Subachoque.

Madrid es el mayor municipio floricultor de Colombia, con unas 1.000 ha, en las que se asientan las empresas más grandes. Unas 30.000 personas trabajan en este sector. Las flores son un importante renglón de exportación, y Madrid genera al país muchas divisas y recursos. Se destaca dentro del sector floricultor, empresas como Fantasy flowers, Imperial, Santa Monica Flowers, Jardines de los Andes, Altamizal, Rosas Colombianas, Rosas Tesalia, Agrícola Papagayo, Senda Brava, entre muchas otras.

---

<sup>3</sup> ALCALDÍA MUNICIPAL DE MADRID CUNDINAMARCA, 2010. Disponible en internet [http://es.wikipedia.org/wiki/Madrid\\_\(Cundinamarca\)\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Madrid_(Cundinamarca)))

Dentro del sector industrial se cuentan con las sedes de Colcerámica S.A. (empresa de la organización Corona), Café Águila Roja, Postobón, Ajoover, Factoría del Vidrio, Bellini, Molinos Capri, Facelec, Triplex Acemar.

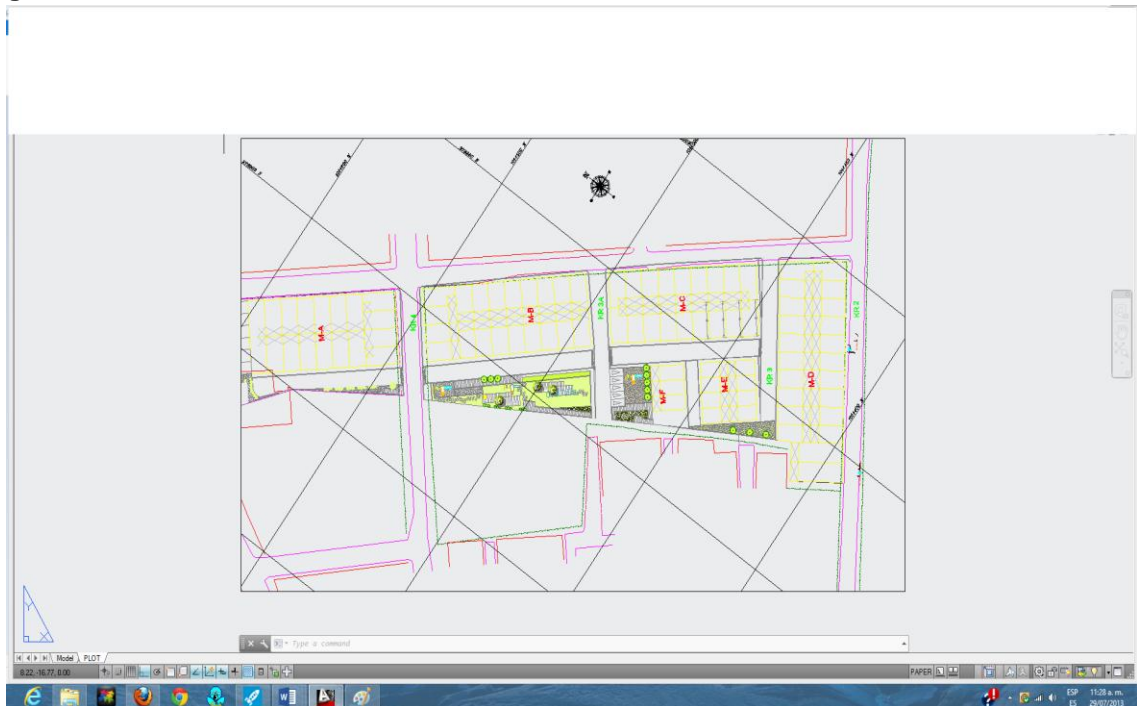
### 4.3 MARCO DEMOGRÁFICO

Con base en la información del DANE, (censo año 2005) la tasa de crecimiento media anual es de 2.12%, constituyéndose como una de las más altas del país, generada por el desplazamiento interno, la presión demográfica del Distrito Capital y la oferta de plazas de trabajo para mano de obra no calificada.

Madrid cuenta con 45 barrios las cuales se encuentran en el anexo 1.

La urbanización en mención se proyecta sobre una área de 10771.13 m<sup>2</sup>, considerando ocupación de vivienda unifamiliar en noventa (90 un) predios y algunos locales.

**Figura 3 Plano de Urbanismo**



**Fuente (Autor)**

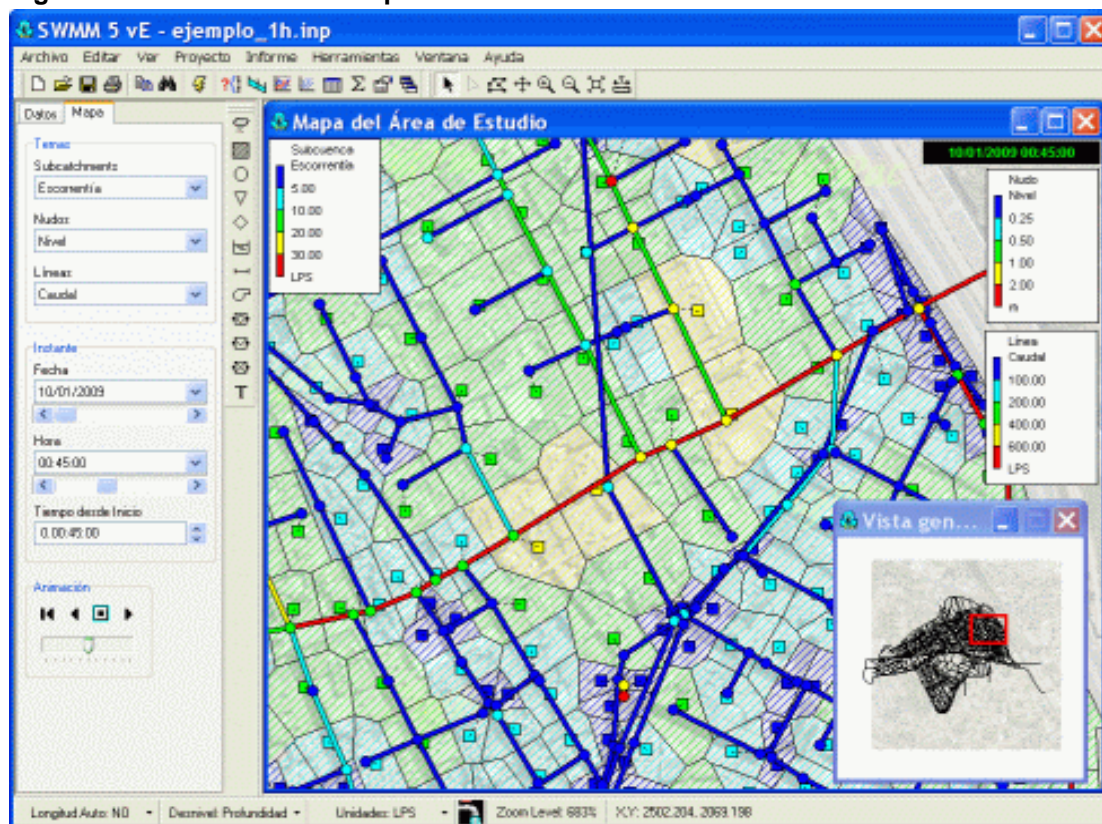


## 4.4 MARCO CONCEPTUAL

A través de los años y con la utilización de las herramientas computacionales, se hace necesario utilizar modelos que representan cada vez más la realidad. Es así como los programas como el Epa Swmm entran a validar y simular información de caudales, interactuando con una serie de elementos para tratar de hacerlo lo más cercano a la realidad.

4.4.1 Descripción software epa swmm. El Stormwater Management Model (modelo de gestión de aguas pluviales) de la EPA (SWMM) es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones, que se puede utilizar para un único acontecimiento o para realizar una simulación continua en periodo extendido. El programa permite simular tanto la cantidad como la calidad del agua evacuada, especialmente en alcantarillados urbanos.

**Figura 4 Modelo de Entrada Epa Swmm**



Fuente (<http://www.instagua.upv.es/swmm/>)

El SWMM representa el comportamiento de un sistema de drenaje mediante una serie de flujos de agua y materia entre los principales módulos que componen un análisis medioambiental (Figura 4). Estos módulos y sus correspondientes objetos de SWMM son los siguientes:

- El módulo de escorrentía de SWMM funciona con una serie de sub-cuencas en las cuales cae el agua de lluvia y se genera la escorrentía.
- El módulo de transporte de SWMM analiza el recorrido de estas aguas a través de un sistema compuesto por tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos reguladores.
- El módulo de calidad permite seguir la evolución de la cantidad y la calidad del agua de escorrentía de cada sub-cuenca, así como el caudal, el nivel de agua en los pozos o la concentración de un compuesto en cada tubería y canal durante una simulación compuesta por múltiples intervalos de tiempo.

SWMM se desarrolló por primera vez en 1971, habiendo experimentando desde entonces diversas mejoras. La edición actual, que corresponde a la 5ª versión del programa, es un código reescrito completamente a partir de ediciones anteriores. Funcionando bajo Windows, EPA SWMM 5 proporciona un entorno integrado que permite introducir datos de entrada para el área de drenaje, simular el comportamiento hidráulico, estimar la calidad del agua y ver todos estos resultados en una gran variedad de formatos. Entre estos, se pueden incluir mapas de contorno o isolíneas para el área de drenaje, gráficos y tablas de evolución a lo largo del tiempo, diagramas de perfil y análisis estadísticos de frecuencia.

La última revisión de SWMM ha sido realizada por la National Risk Management Research Laboratory de Estados Unidos, perteneciente a la agencia para la protección del medio ambiente (EPA), contándose con la colaboración de la consultoría CDM,Inc.

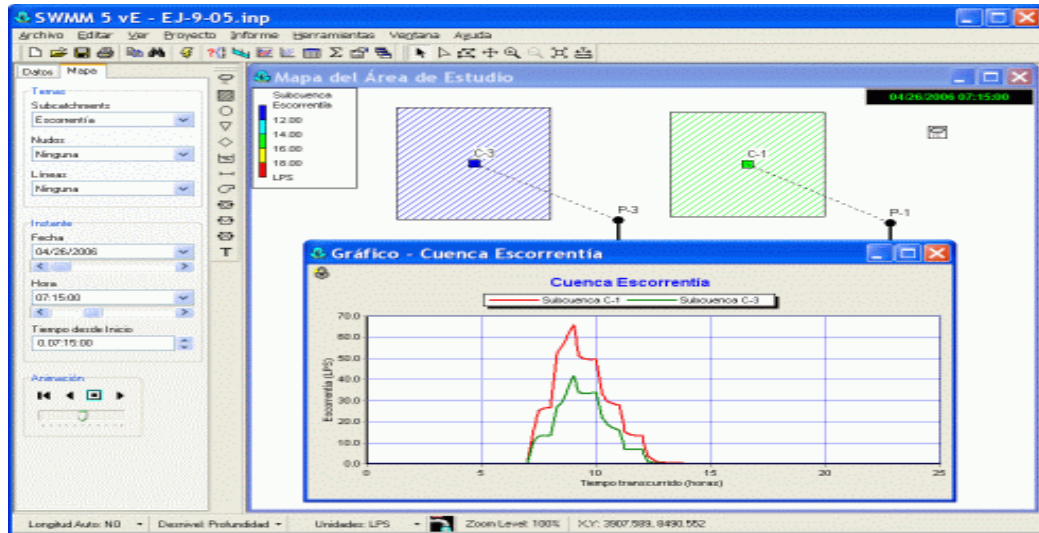
SWMM 5 vE es la traducción al español del programa EPA-SWMM publicado por la EPA en noviembre de 2009 (Build 5.0.018). La traducción ha sido realizada por el Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos, de la Universidad Politécnica de Valencia.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup>Nacional Risk Management Research Laboratory de Estados Unidos. 2009. (citado jun. 2013). Disponible en internet: (<http://www.instagua.upv.es/swmm/>)

#### 4.4.2 Módulo Hidrológico

Figura 5 Módulo de Hidrologia.



Fuente (<http://www.instagua.upv.es/swmm/>)

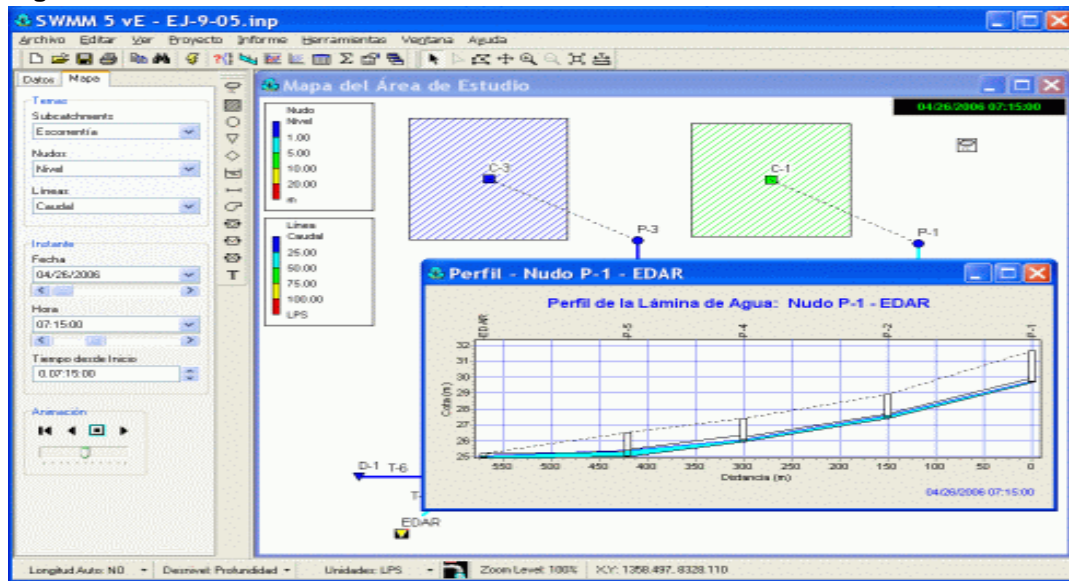
SWMM considera distintos procesos hidrológicos que se producen en la salida de las aguas urbanas (Figura 5). Entre éstos se encuentran:

- Precipitaciones variables en el tiempo
- Evaporación de las aguas superficiales estancadas
- Acumulación y deshielo de nieve
- Intercepción de precipitaciones por almacenamiento en depresiones
- Infiltración de las precipitaciones en capas del suelo no saturadas
- Entrada del agua de la infiltración en acuíferos
- Intercambio de flujo entre los acuíferos y el sistema de transporte
- Modelo de depósitos no lineales para el flujo superficial

La variabilidad espacial en todos estos procesos se alcanza dividiendo una determinada área de estudio en áreas de captación de agua más pequeñas y homogéneas (N.d.T. denominadas sub-cuencas). Cada una de éstas contiene su propia fracción de sub-áreas permeables e impermeables. El flujo superficial puede producirse entre las distintas sub-áreas, entre las distintas sub-cuencas o entre los puntos de entrada al sistema de drenaje.

#### 4.4.3 Módulo Hidráulico

Figura 6 Modulo Hidraulico.



Fuente (<http://www.instagua.upv.es/swmm/>)

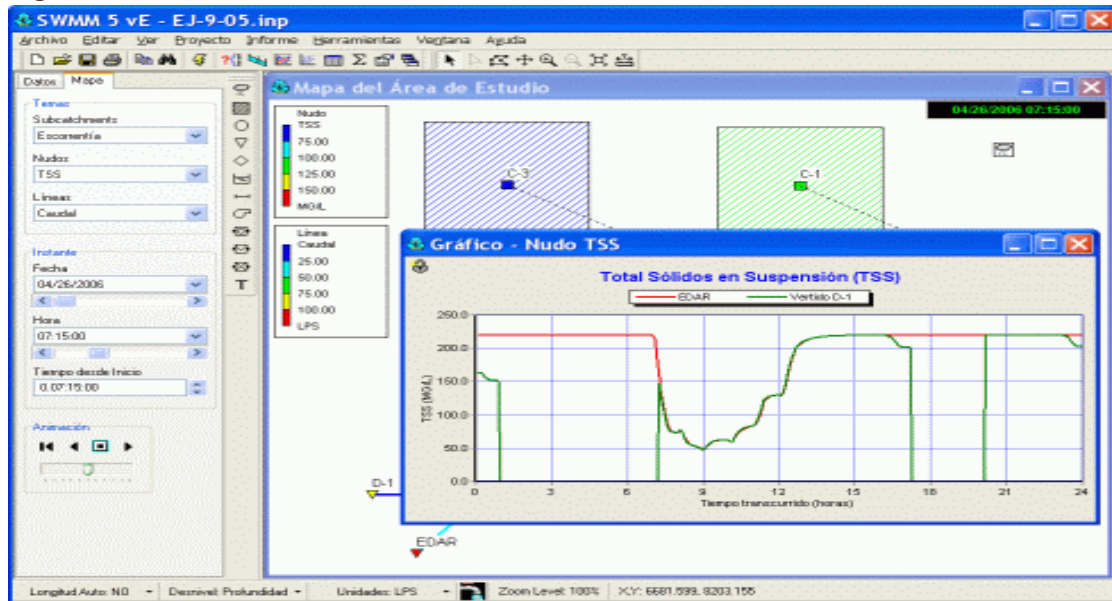
SWMM contiene un conjunto flexible de herramientas de modelación de características hidráulicas utilizado para analizar el flujo debido a la escorrentía superficial y los aportes externos de caudal a través de una red de tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, y demás estructuras, como se observa en la Figura 6. Estas herramientas incluyen la capacidad de:

- Manejar redes de tamaño ilimitado
- Utilizar una amplia variedad de geometrías para las conducciones, tanto abiertas como cerradas, así como los canales naturales
- Modelar elementos especiales como unidades de almacenamiento y tratamiento, divisores de flujo, bombas, vertederos y orificios.
- Aplicar caudales externos y concentraciones para determinar la calidad del agua de las aguas superficiales, intercambio de caudales con los acuíferos, caudales de infiltración en los colectores dependientes de la precipitación, caudales sanitarios en tiempo seco y aportes externos definidos por el usuario.
- Realizar el análisis hidráulico por distintos métodos como el flujo uniforme, la onda cinemática o la modelación completa por onda dinámica.

- Modelar distintos regímenes de flujo, como pueden ser remanso, entrada en carga, flujo inverso y acumulación en superficie.
- Aplicar controles dinámicos definidos por el usuario para simular el funcionamiento de las bombas, la abertura de los orificios o la posición de la cresta de un vertedero.

#### 4.4.4 Módulo de Calidad

**Figura 7 Módulo Calidad.**



**Fuente (<http://www.instagua.upv.es/swmm/>)**

Además de modelar la generación y transporte de la escorrentía superficial, SWMM puede también estimar la producción y evolución de cargas contaminantes asociadas a dicha escorrentía (Figura 7). Se pueden modelar los siguientes procesos para cualquier número de sustancias asociados a la calidad del agua definidas por el usuario:

- Acumulación del contaminante durante tiempo seco para diferentes usos del suelo
- Arrastre del contaminante en determinados usos del suelo durante episodios de tormenta
- Contribución directa debida a la propia lluvia
- Reducción de la acumulación debida a la limpieza de calles en tiempo seco
- Reducción en cargas de arrastre debidas a buenas prácticas de gestión
- Entrada de flujos sanitarios en tiempo seco y otros aportes externos especificadas por el usuario en cualquier punto del sistema de drenaje

- Seguimiento de las sustancias asociadas a la calidad del agua a lo largo de todo el sistema
- Reducción en la concentración del contaminante por medio de tratamientos en depósitos o debido a procesos naturales en tuberías y canales.



## 5. MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO

El presente capítulo describe los elementos a tener en cuenta para la evaluación de los caudales sanitarios necesarios para la configuración del modelo. Se evalúan todos parámetros necesarios recomendados por el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS -2000.

### 5.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

Los parámetros de diseño se definirán siguiendo las recomendaciones dadas en las normas establecidas por el Ministerio de Desarrollo Económico en su documento “Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS-2000)”.

5.1.1 Nivel de complejidad. En el Título A, numeral A.3 del Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000), se establece la clasificación de los proyectos de acueducto y/o alcantarillado en un nivel de complejidad dependiendo del número de habitantes y su capacidad económica tal como se indica en la Tabla 6.1.

**Tabla 1 Nivel de Complejidad del Sistema (Tabla A.3.1 - RAS 2000)**

<b>Nivel de Complejidad</b>	<b>Población en la Cabecera Municipal(1) [Hab.]</b>	<b>Capacidad económica de los usuarios(2)</b>
Bajo	<2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio - Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Fuente: RAS 2000

Para el municipio de Madrid se tomó como referencia las proyecciones presentadas por el Dane para el año actual es de 64817 habitantes, se establece un nivel de complejidad ALTO y una capacidad económica ALTA para el proyecto.

5

---

<sup>5</sup> DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA 2005. (citado mar. 2013). Disponible en internet:(<http://www.dane.gov.co/>)

5.1.2 Dotación neta. Según la resolución 2320 de 2009 y su artículo 1 que modifica el artículo 67 de la resolución 1096 del 2000, donde se define la dotación neta para determinar las demandas de los sistemas de acueducto y alcantarillado y definidos en la tabla 6.2:

**Tabla 2 Dotación Neta Máxima**

<b>Nivel de Complejidad del sistema</b>	<b>Dotación neta máxima para poblaciones con Clima Frio o Templado (L/hab*día)</b>	<b>Dotación neta máxima para poblaciones con Clima Cálido (L/hab*día)</b>
<b>Bajo</b>	<b>90</b>	<b>100</b>
<b>Medio</b>	<b>115</b>	<b>125</b>
<b>Medio alto</b>	<b>125</b>	<b>135</b>
<b>Alto</b>	<b>140</b>	<b>150</b>

Fuente: RAS-2000

Se entiende que poblaciones con Clima Frio o Templado son aquellas que está a una altura superior a los 1000 m.s.n.m. y las poblaciones con Clima Cálido son aquellas que están a una altura igual o inferior a los 1000 m.s.n.m.

Para el Municipio de Madrid se determina que la dotación neta máxima para el Municipio es de 140 L/hab\*día.

5.1.3 Coeficiente de retorno. El coeficiente de retorno es la fracción del agua de uso doméstico servida (dotación neta), entregada como agua negra al sistema de recolección y evacuación de aguas residuales. Su estimación debe provenir del análisis de información existente de la localidad y/o de mediciones de campo. Cuando esta información resulte inexistente o muy pobre, pueden utilizarse como guía los rangos de valores de R descritos en la tabla (RAS-2000 Titulo D Tabla D.3.1.).

**Tabla 3 Coeficiente de Retorno**

<b>Nivel de Complejidad del sistema</b>	<b>Coeficiente de Retorno</b>
<b>Bajo y Medio</b>	<b>0.7 - 0.8</b>
<b>Medio alto y Alto</b>	<b>0.8 - 0.85</b>

Fuente: RAS-2000



Para el Municipio de Madrid por la falta de datos existentes en la localidad, por su tamaño y por sus características es adecuado elegir un coeficiente de Retorno del 0.85 de acuerdo al nivel de complejidad ALTO.

**Tabla 4 Dotación Neta Afectada por el coeficiente de Retorno**

<b>Municipio</b>	<b>Dotación neta máxima para poblaciones con Clima Frio o Templado (L/hab*día)</b>	<b>R.</b>	<b>Consumo medio diario por habitante (C) l/hab*día</b>
Madrid	140	0.85	119

Fuente: Autor

5.1.4 Contribuciones domesticas QD. El aporte doméstico (QD) está dado por la expresión,

$$Q_D = \frac{C \cdot D \cdot A_{rd} \cdot R}{86400} \quad \text{o} \quad Q_D = \frac{C \cdot P \cdot R}{86400}$$

Se recomienda utilizar para un nivel de complejidad alto la segunda expresión, la cual es acorde y cercana con el Municipio de Madrid y el nivel de complejidad del sistema.

5.1.5 Consumo medio diario por habitante (C). Corresponde a la dotación neta, es decir, a la cantidad de agua que el consumidor efectivamente recibe para satisfacer sus necesidades, para el caso del municipio de Madrid el Consumo Medio por habitante es de 140 l/hab\*día.

**Tabla 5 Consumo medio diario por habitante**

<b>Municipio</b>	<b>C</b>
Madrid	<b>140 l/hab*día</b>

Fuente: Autor

Para el Municipio de Madrid y según las expresiones consignadas en el RAS-2000, se utilizara la segunda expresión que corresponde a una localidad de un nivel de complejidad Alto. En el caso del municipio de Madrid se tiene los siguientes parámetros para el cálculo de las contribuciones domésticas.

**Tabla 6 Parámetros para el Cálculo de las Contribuciones Domesticas**

<b>Municipio</b>	<b>Madrid</b>
<b>Nivel de Complejidad del sistema</b>	Alto
<b>C</b>	140
<b>P</b>	450
<b>R</b>	0,85
<b>Q<sub>D</sub></b>	0.62 l/s

Fuente: Autor

5.1.6 Contribuciones industriales (QI). El consumo de agua industrial varía de acuerdo con el tipo y tamaño de la industria, y los aportes de aguas residuales varían con el grado de recirculación de aguas y los procesos de tratamiento, para industrias pequeñas localizadas en zonas residenciales o comerciales pueden utilizarse los valores mostrados en la tabla (RAS-2000 Título D Tabla D.3.2) de caudal por hectárea de área bruta de industria.

**Tabla 7 Contribuciones Industriales**

<b>Nivel de Complejidad del sistema</b>	<b>Contribución industrial (l/s× ha ind)</b>
Bajo	0.4
Medio	0.6
Medio alto	0.8
Alto	1.0 1.5

Fuente: RAS-2000

Para la Urbanización Plaza Madrid, se determinó que no existen consumos industriales porque carecer de este tipo de empresas, por lo que no se tomaran en cuenta en el cálculo de las contribuciones de aguas residuales.

5.1.7 Contribuciones comerciales (QC). Para zonas netamente comerciales, el caudal de aguas residuales Qc debe estar justificado con un estudio detallado, basado en consumos diarios por persona, densidades de población en estas áreas y coeficientes de retorno mayores que los de consumo doméstico. Para zonas mixtas comerciales y residenciales pueden ponderarse los caudales medios con base en la concentración comercial relativa a la residencial, utilizando como base los valores de la tabla (RAS-2000 Título D Tabla D.3.3).

**Tabla 8 Contribuciones Comerciales**

<b>Nivel de Complejidad del sistema</b>	<b>Contribución comercial (l/s*ha com)</b>
Cualquiera	0.4 – 0.5

Fuente: RAS-2000

En el proyecto el comercio de la zona es mínimo y se enfoca en pequeñas tiendas de barrio, Por esto se toma como contribución comercial el valor de 0.5 L/s.ha com. El proyecto tiene zonas mixtas comerciales y residenciales, el área comercial corresponde a 0.03587 ha.

**Tabla 9 Caudal Comercial**

<b>Proyecto</b>	<b>Área Comercial</b>	<b>Contribuciones Comerciales (RAS-2000)</b>	<b>Q<sub>c</sub></b>
Urbanización	0.03587 ha com.	0.5 l/s x ha com.	<b>0,018 l/s</b>

Fuente: Autor

5.1.8 Contribuciones institucionales (qin). El consumo de agua de las diferentes instituciones varía de acuerdo con el tipo y tamaño de las mismas, dentro de las cuales pueden mencionarse escuelas, colegios y universidades, hospitales, hoteles, cárceles, etc. En los literales B.3.5.6 y B.3.5.7 del título B, se establece su estimación. En consecuencia, los aportes de aguas residuales institucionales QIN deben determinarse para cada caso en particular, con base en información de consumos registrados en la localidad de entidades similares. Sin embargo, para pequeñas instituciones ubicadas en zonas residenciales, los aportes de aguas residuales pueden estimarse a partir de los valores por unidad de área institucional, presentados en la tabla (RAS-2000 Título D Tabla D.3.4).

**Tabla 10 Contribuciones Institucionales**

<b>Nivel de Complejidad del sistema</b>	<b>Contribución Institucional (l/s*ha inst)</b>
Cualquiera	0.4 – 0.5

Fuente: RAS-2000

En la Urbanización, no se tiene previsto la existencia de alguna locación de carácter institucional, pero existe la posibilidad a futuro de alguna escuela de carácter pre-escolar, se tomara para el cálculo del aporte institucional un valor de 0.4 l/s-ha-inst., asignando de igual forma un valor por unidad de área de 72 m2, valor de área de una vivienda promedio de la Urbanización.

**Tabla 11 Caudal Institucional**

<b>Proyecto</b>	<b>Área Institucional</b>	<b>Contribuciones Institucional (RAS-2000)</b>	<b>Q<sub>IN</sub></b>
Urbanización	0.0072 ha	0.4 l/s x ha inst.	<b>0.0029 l/s</b>

Fuente: Autor

5.1.9 Caudal medio diario de aguas residuales (QMD). El caudal medio diario de aguas residuales (QMD) para un colector con un área de drenaje dada es la suma de los aportes domésticos, industriales, comerciales e institucionales.

$$Q_{MD} = Q_D + Q_C + Q_I + Q_{IN}$$

**Tabla 12 Caudal Medio Diario de Aguas Residuales**

<b>Proyecto</b>	<b>Q<sub>D</sub> (l/s)</b>	<b>Q<sub>I</sub> (l/s)</b>	<b>Q<sub>C</sub> (l/s)</b>	<b>Q<sub>IN</sub> (l/s)</b>
Urbanización	<b>0.62</b>	<b>0</b>	<b>0.018</b>	<b>0.0029</b>

Fuente: Autor

**Tabla 13 Caudal Medio Diario**

<b>Proyecto</b>	<b>Caudal Medio Diario</b>
Urbanización	<b>0.64 l/s</b>

Fuente: Autor

5.1.10 Conexiones erradas (QCE). Deben considerarse los aportes de aguas lluvias al sistema de alcantarillado sanitario, provenientes de malas conexiones de bajantes de tejados y patios, Q<sub>CE</sub>. Estos aportes son función de la efectividad de las medidas de control sobre la calidad de las conexiones domiciliarias y de la

disponibilidad de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias. La información existente en la localidad sobre conexiones erradas debe utilizarse en la estimación de los aportes correspondientes. En la tabla D.3.5 se dan como guía valores máximos de los aportes por conexiones erradas, en caso de que exista un sistema de recolección y evacuación de aguas lluvias.

**Tabla 14 Aportes máximos por conexiones erradas con sistema pluvial**

<b>Nivel de Complejidad del sistema</b>	<b>Aporte (l / s*ha)</b>
Bajo y Medio	0.2
Medio alto y Alto	0.1

Fuente: RAS-2000

Para el proyecto por sus características y por tener un sistema de alcantarillado separado se espera un aporte por conexiones erradas del 0.1 L/s\*ha.

**Tabla 15 Conexiones erradas**

<b>Proyecto</b>	<b>Área</b>	<b>Aporte por Conexiones Erradas</b>	<b>Q<sub>CE</sub></b>
Urbanización	0.67114 ha	0.1 l/s*ha.	0.067 l/s

Fuente: Autor

5.1.11 Infiltraciones. La infiltración de aguas sub-superficiales a las redes de sistemas de alcantarillado sanitario, principalmente freático, a través de fisuras en los colectores, en juntas ejecutadas deficientemente, en la unión de colectores con pozos de inspección y demás estructuras, cuando no son completamente impermeables. El aporte puede establecerse con base en los valores de la tabla (RAS-2000 Título D Tabla D.3.7), en donde el valor inferior del rango dado corresponde a condiciones constructivas más apropiadas, mayor estanqueidad de colectores y estructuras complementarias y menor amenaza sísmica. La categorización de la infiltración en alta, media y baja se relaciona con las características topográficas, de suelos, niveles freáticos y precipitación.

**Tabla 16 Aportes por filtración al Sistema aguas residuales**

<b>Nivel de Complejidad del sistema</b>	<b>Infiltración alta (l / s*ha)</b>	<b>Infiltración Media (l / s*ha)</b>	<b>Infiltración Baja (l / s*ha)</b>
Bajo y Medio	0.15 - 0.4	0.1 – 0.3	0.05 – 0.2
Medio alto y Alto	0.15 – 0.4	0.1 – 0.3	0.05 – 0.2

Fuente: RAS-2000

El municipio de Madrid por su topografía, nivel freático y precipitación está catalogado como de Infiltración Media Alto con un valor de 0.2 l/s. ha.

**Tabla 17 Caudal Infiltración**

<b>Proyecto</b>	<b>Área</b>	<b>Aporte por Filtración</b>	<b>Q<sub>INF</sub></b>
Urbanización	1.077 ha.	0.2 l/s x ha	<b>0.215 l/s</b>

Fuente: Autor

5.1.12 Caudal máximo horario (Q<sub>MH</sub>). El caudal máximo horario es la base para establecer el caudal de diseño de una red de colectores de un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales. El caudal máximo horario del día máximo se estima a partir del caudal final medio diario, mediante el uso del factor de mayoración, F, en la siguiente expresión:

$$Q_{MH} = F * Q_{MD}$$

### **Factor de mayoración**

El factor de mayoración para estimar el caudal máximo horario, con base en el caudal medio diario, tiene en cuenta las variaciones en el consumo de agua por parte de la población. El valor del factor disminuye en la medida en que el número de habitantes considerado aumenta, pues el uso del agua se hace cada vez más heterogéneo y la red de colectores puede contribuir cada vez más a amortiguar los flujos. La variación del factor de mayoración debe ser estimada a partir de mediciones de campo. Según el Ras -2000 esto no es factible en muchos casos, por lo cual es necesario estimarlo con base en relaciones aproximadas como las Harmon y Babbitt, válidas para poblaciones de 1.000 a 1. 000.000 habitantes, y la de Flores, en las cuales se estima F en función del número de habitantes.

$$F = 1 + \frac{14}{(4 + P^{0,5})} \quad \text{Harmon} \quad F = \frac{5}{P^{0,2}} \quad \text{Babbitt} \quad F = \frac{3,5}{P^{0,1}} \quad \text{Flores}$$

El factor de mayoración también puede ser dado en términos del caudal medio diario como en las fórmulas de Los Ángeles o la de Tchobanoglous.

$$F = \frac{3,53}{Q_{MD}^{0,0914}} \quad \text{Los Angeles}$$

$$F = \frac{3,70}{Q_{MD}^{0,0733}} \quad \text{Tchobanoglous.}$$

La fórmula de Los Ángeles es válida para el rango de 2,8 a 28300 L/s, mientras que la de Tchobanoglous lo es para el rango de 4 a 5000 L/s. Según Ras-2000 Titulo D esta última relación es adecuada cuando la contribución de aguas residuales de procedencia comercial, industrial e institucional no representa más del 25% del caudal total de aguas residuales.

**Tabla 18 Factores de Mayoración**

Proyecto	Factor de Mayoración - F				
	Harmon	Babbitt	Flores	Los Ángeles	Tchobanoglous
Urbanización	1.55	1.47	1.89	3.67	3.82

Fuente: Autor

Para el Proyecto se tendrá en cuenta el método que se desarrolla en términos de la población es decir el método de Flores.

**Tabla 19 Factor de Mayoración**

Proyecto	Método de Calculo	F	F <sub>Flores</sub>
Urbanización	Flores	≥ 1.4	<b>1.87</b>

Fuente: Autor

El factor F debe calcularse tramo por tramo de acuerdo con el incremento progresivo de población y caudal.

**Tabla 20 Caudal Máximo Horario**

Proyecto	Q <sub>MD</sub>	F	Q <sub>MH</sub>
Urbanización	0.64 l/s	1.87	<b>1.20 l/s</b>

Fuente: Autor

5.1.13 Caudal de diseño (QDT). El caudal de diseño de cada tramo de la red de colectores se obtiene sumando al caudal máximo horario del día máximo, QMH, los aportes por infiltraciones y conexiones erradas.

$$Q_{DT} = Q_{MH} + Q_{INF} + Q_{CE}$$

Este caudal es el correspondiente a las contribuciones acumuladas que llegan al tramo hasta el pozo de inspección inferior. Cuando el caudal de diseño calculado en el tramo sea inferior a 1,5 L/s, debe adoptarse este valor como caudal de diseño.

Para el municipio como lo dicta la norma se deben tener en cuenta el caudal mínimo de diseño para los tramos iniciales o en los que el caudal de diseño sea inferior al mínimo establecido.

**Tabla 21 Caudal mínimo de Diseño por tramo**

<b>Proyecto</b>	<b>Q<sub>DT</sub> por tramo</b>
Urbanización	≥ 1.5 L/s

Fuente: RAS-2000

**Tabla 22 Caudal mínimo de Diseño**

<b>Proyecto</b>	<b>Q<sub>CE</sub></b>	<b>Q<sub>INF</sub></b>	<b>Q<sub>MH</sub></b>	<b>Q<sub>DT</sub></b>
Urbanización	0.067 /s	0.215 l/s	1.20 l/s	<b>1.48 l/s</b>

Fuente: RAS-2000

5.1.14 Diámetros mínimos. Según Ras-2000 en las redes de recolección y evacuación de aguas residuales, la sección circular es la más usual para los colectores, principalmente en los tramos iniciales.

El diámetro interno real mínimo permitido en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales tipo alcantarillado sanitario convencional es 200 mm (8") con el fin de evitar obstrucciones de los conductos por objetos relativamente grandes introducidos al sistema. Cuando se pretende evacuar las aguas residuales de 10 viviendas en adelante, es recomendable utilizar como diámetro mínimo 200 mm.



Para el Municipio de Madrid es recomendable un diámetro mínimo de 200 mm (8”), ya que la recolección de aguas residuales en estos tramos iniciales es básica, de fácil evacuación y de poca probabilidad de obstrucciones, al igual en el ámbito económico existe una notable reducción del valor final de proyecto sin incurrir en sobrevaloraciones del mismo; El RAS- 2000 considera adecuado utilizar un diámetro mínimo tuberías de 6” para sistemas de nivel de complejidad bajo, sin embargo si esto no es posible se debe establecer un Diámetro mínimo absoluto de 200mm u 8”

**Tabla 23 Diámetro mínimo de Diseño**

<b>Proyecto</b>	<b>Diámetro Mínimo</b>
Urbanización	8 pulgadas

Fuente: Autor

5.1.15 Velocidades máximas y mínimas. **Velocidades mínimas:** Si las aguas residuales fluyen por un periodo largo a bajas velocidades, los sólidos transportados pueden depositarse dentro de los colectores. En consecuencia, se debe disponer regularmente de una velocidad suficiente para lavar los sólidos depositados durante periodos de caudal bajo. Para lograr esto, se establece la velocidad mínima como criterio de diseño. La velocidad mínima real permitida en el colector es 0,45 m/s.

**Tabla 24 Velocidad mínima de Diseño**

<b>Proyecto</b>	<b>Velocidad Mínima</b>
Urbanización	0.45 m/s

Fuente: Autor

### **Velocidades máximas**

Los valores máximos permisibles para la velocidad media en los colectores por gravedad dependen del material, en función de su sensibilidad a la abrasión. Los valores adoptados deben estar plenamente justificados en términos de características de los materiales, de las características abrasivas de las aguas residuales, de la turbulencia del flujo y de los empotramientos de los colectores. Deben hacerse las provisiones necesarias de atraque del colector.

En general, se recomienda que la velocidad máxima real no sobrepase 5 m/s. Los valores mayores deben justificarse apropiadamente para ser aceptados por la empresa prestadora del servicio.

5.1.16 Esfuerzo cortante. Según Ras-2000 el esfuerzo cortante medio está dado por la expresión

$$\tau = \gamma \cdot R \cdot S$$

En aquellos casos en los cuales, por las condiciones topográficas presentes, no sea posible alcanzar la velocidad mínima, debe verificarse que el esfuerzo cortante sea mayor que 1,2 N/m<sup>2</sup> (0,12 Kg/m<sup>2</sup>). Cuando el sistema considerado corresponda a un nivel de complejidad Alto, como el municipio de Madrid, el valor de la velocidad mínima real es de 0,45 m/s o la correspondiente a un esfuerzo cortante mínimo de 1,2 N/m<sup>2</sup> (0,12Kg/m<sup>2</sup>).

**Tabla 25 Esfuerzo Cortante mínimo**

Proyecto	Esfuerzo Cortante
Urbanización	1.2 N/m <sup>2</sup>

Fuente: Autor

#### 5.1.17 Profundidades máximas y mínimas de colectores

5.1.17.1 Profundidades mínimas de colectores a la cota clave. Los colectores de redes de recolección y evacuación de aguas residuales deben estar a una profundidad adecuada para permitir el drenaje por gravedad de las descargas domiciliarias sin sótano, aceptando una pendiente mínima de éstas de 2%. Además, el cubrimiento mínimo del colector debe evitar la ruptura de éste, ocasionada por cargas vivas que pueda experimentar. (RAS-2000 Título D Tabla D.3.2.12).

Los valores mínimos permisibles de cubrimiento de los colectores se definen en la tabla (RAS-2000 Título D Tabla D.3.11).

**Tabla 26 Profundidad Mínima a Cota Clave**

<b>Servidumbre</b>	<b>Profundidad a la clave del colector (m)</b>
Vías peatonales o zonas verdes	0.75
Vías vehiculares	1.20

Fuente: RAS-2000

Para casos especiales como localidades con evidentes problemas de drenaje los valores anteriores pueden reducirse haciendo las previsiones estructurales y geotécnicas correspondientes. Las conexiones domiciliarias y los colectores de aguas residuales deben localizarse por debajo de las tuberías de acueducto.

Para el proyecto según el trazado de los colectores y por ser zona de ladera se definirá una profundidad mínima de acuerdo a la servidumbre y ubicación.

**Tabla 27 Profundidades Mínimas para el proyecto**

<b>Proyecto</b>	<b>Servidumbre</b>	<b>Profundidad a la clave del colector (m)</b>
Urbanización	Vías vehiculares	1.20

Fuente: Autor

5.1.17.2 Profundidad máxima de colectores a la cota clave. En general la máxima profundidad de los colectores es del orden de 5 m, aunque puede ser mayor siempre y cuando se garanticen los requerimientos geotécnicos de las cimentaciones y estructurales de los materiales y colectores durante (y después de) su construcción.

Los cruces subterráneos de lagos, ríos y corrientes superficiales deberán acompañarse de un diseño apropiado e idóneo que justifique las dimensiones, los atraques y las profundidades empleadas y deberán proveerse de medios para impedir su destrucción por efectos de la socavación de la corriente atravesada

**Tabla 28 Profundidad Máxima de colectores**

<b>Proyecto</b>	<b>Profundidad Máxima de Colectores (m)</b>
Urbanización	5

Fuente: Autor

## 5.2 MODELO, SIMULACIÓN

En el presente capítulo se muestran todos los resultados obtenidos después del proceso de modelación del software EpaSwmm para los sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial, teniendo en cuenta toda la metodología y lineamientos del Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento Ras.

5.2.1 Modelo. De acuerdo a lo mencionado en el capítulo 5.5 “Software EpaSwmm”, lo primero es realiza el modelo, teniendo en cuenta la topología de la red a proyectar. En este modelo se involucran todos los elementos de la red como Pozos o Nodos, tramos con su respectiva longitud, diámetro asumido, pendiente en %, n manning (0.01 tubería de PVC), caudales por tramos, etc.

Con el fin de poder insertar a cada uno de los nodos sus aportes o caudales se hace necesario calcular caudales unitarios por tramo, en la siguiente tabla se muestran los caudales.

**Tabla 29 Caudales por tramo**

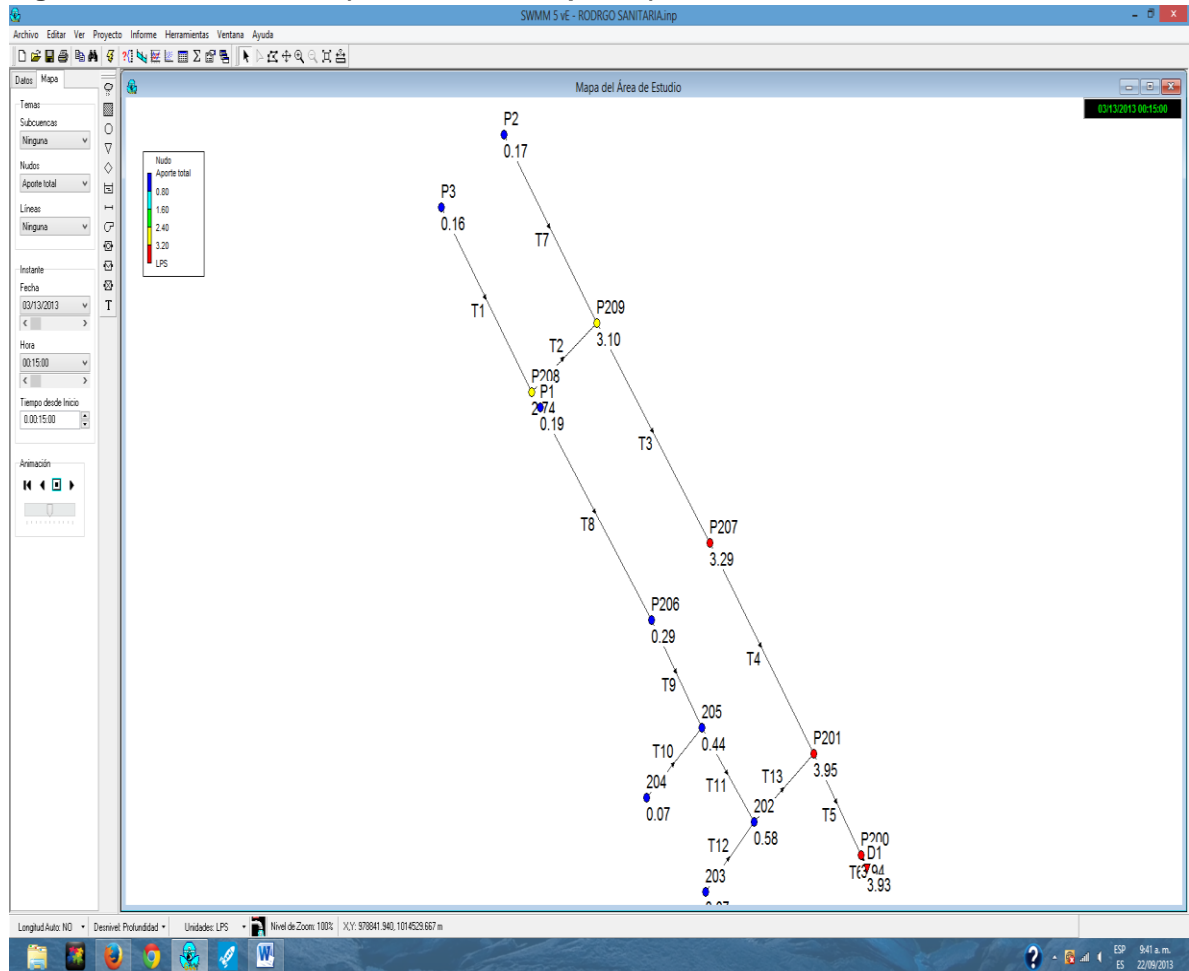
<b>No Tramo</b>	<b>Pozo a Pozo</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Caudal (l/s)</b>
T1	P3 - P208	56.49	0.161= 1.5
T2	P208 - P209	29.33	0.084 = 1.5
T3	P209 - P207	68.34	0.195 = 1.5
T4	P207 - P201	64.58	0.184 = 1.5
T5	P201 - P200	30.61	0.087 = 1.5
T6	P200 - D1	3.98	0.011= 1.5
T7	P2 - P209	57.87	0.165 = 1.5
T8	P1 - P206	68.34	0.195 = 1.5
T9	P206 - P205	32.45	0.093 = 1.5
T10	P204 – P205	25.30	0.072 = 1.5
T11	P205 – P202	27.93	0.080 = 1.5
T12	P203 – P202	24.08	0.069 = 1.5
T13	P202 – P201	29.46	0.084 = 1.5
		<b>Sub Total</b>	<b>1.480</b>
		<b>Gran Total</b>	<b>4.064</b>

Nota: Al pozo P208 le llega un aporte de 2.66 l/s adicionales.

Fuente: Autor

En la figura No 8 se muestra la representación del modelo con sus respectivos elementos de configuración como lo son los nodos, tramos, aportes.

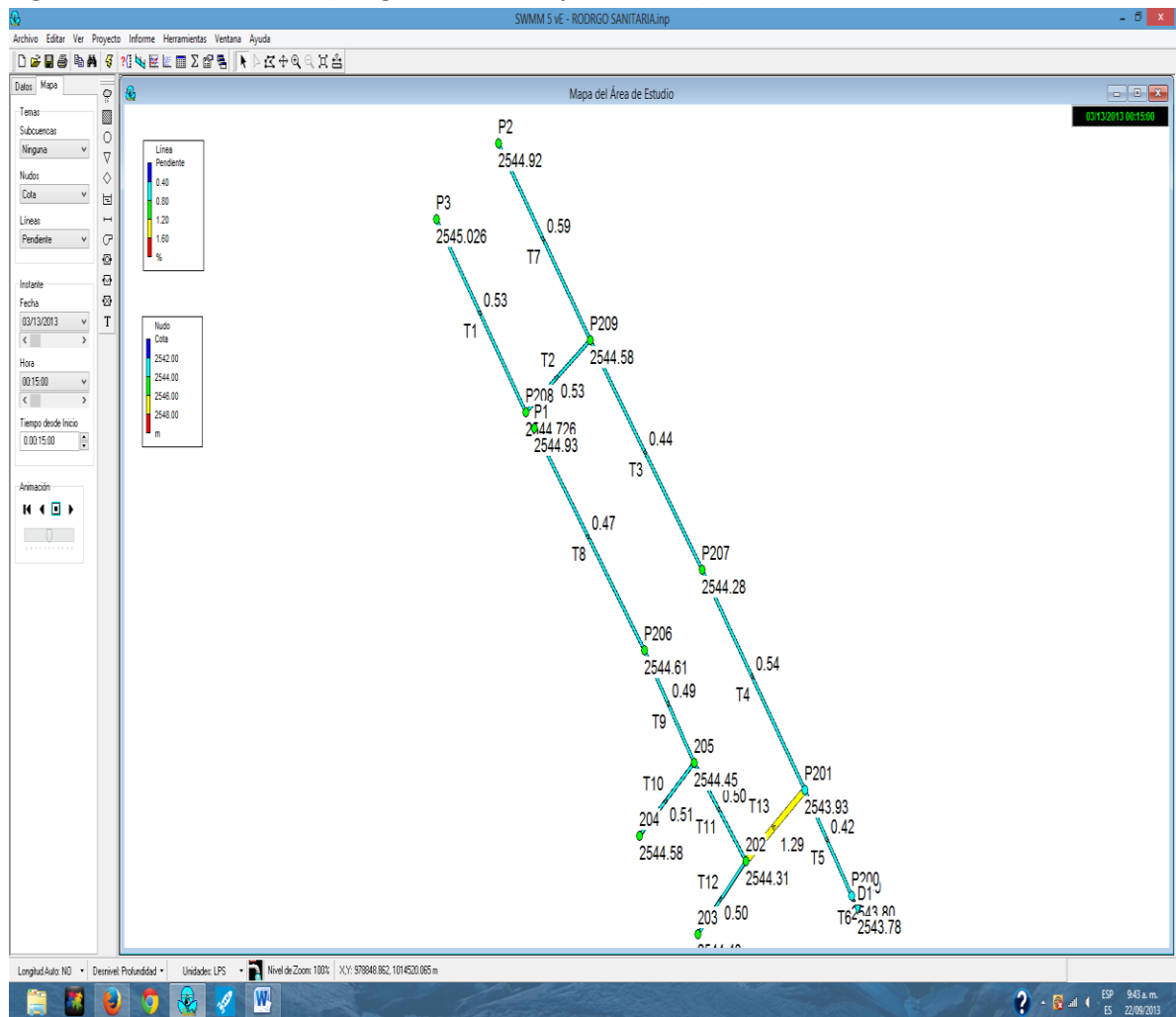
**Figura 8 Modelo Sanitario (Nodos, tramos, aportes).**



Fuente: Autor

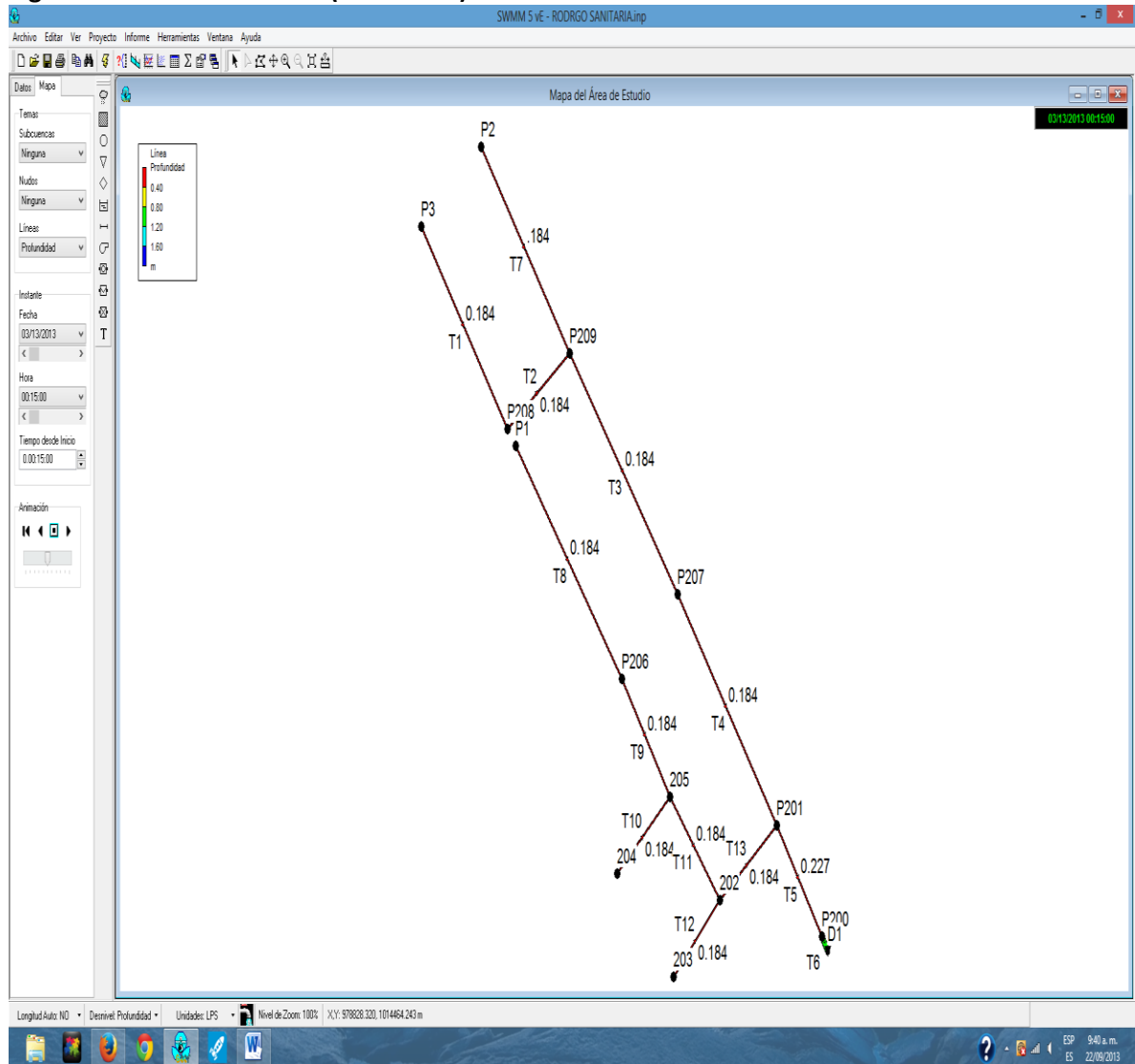
De la misma manera sobre el mismo modelo, se insertan las longitudes de los tramos y cotas para obtener las pendientes.

**Figura 9 Modelo Sanitario (Longitudes, cotas, pendientes).**



Fuente: Autor

**Figura 10 Modelo Sanitario (Diámetros).**



Fuente: Autor

En la figura 10 se muestra los diámetros de las tuberías a modelar, en este caso oscilan entre 0.184 m a 0.227 m en su diámetro interno de acuerdo a la Normativa RAS.

5.2.2 Simulación. Luego de tener listo el modelo con las principales características y topología de la red, se le da la opción “calcular” con el fin de conocer los resultados y verificar que estén dentro de los parámetros establecidos en la metodología y requerimientos del Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento.

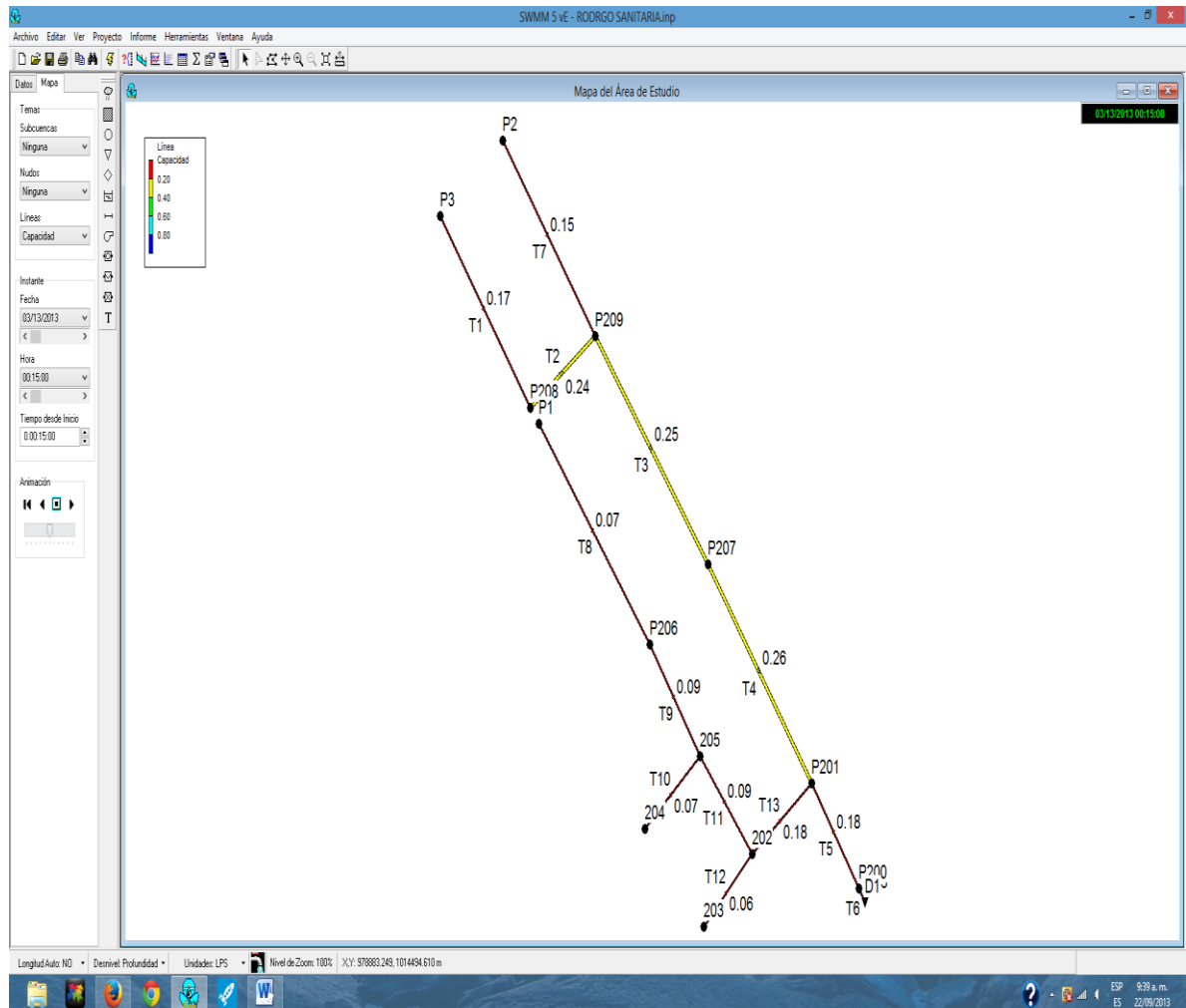
En las Siguietes figuras 11, y 12 se muestran el comportamiento de la red arrojando los principales resultados como son: Relaciones de Caudal ( $Q_{dis} / Q_{tubo\ lleno}$ ), y el perfil del colector.

Todos estos parámetros son comparados con lo que se establece en el Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento RAS.

En la figura 11 se muestran la relación de capacidad, relación de caudales



**Figura 11 Modelo Sanitario (Relacion de caudales  $Q_{dis}/Q_{tubo\ lleno}$ ).**

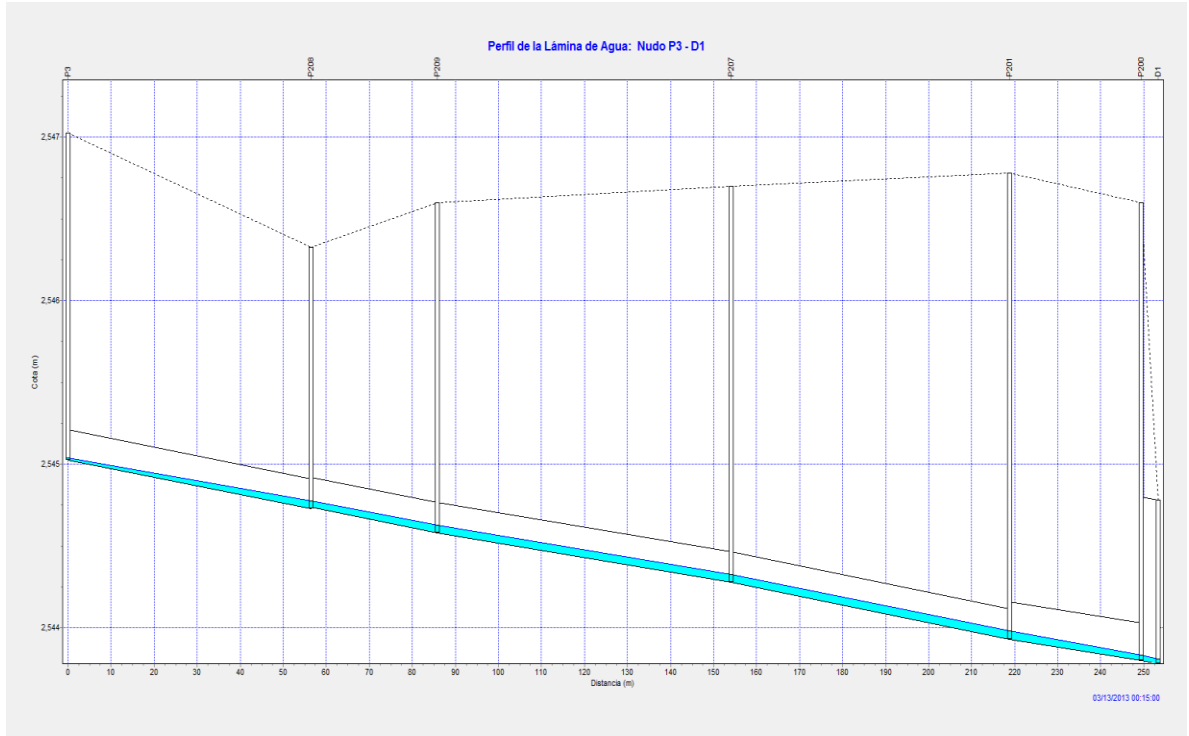


Fuente: Autor

Los resultados con respecto al diámetro utilizado en la modelación (8"-10" o 0.184 m- 0.227m, se obtienen valores de relaciones de caudal que oscilan entre 0.03 y 0.26, como se muestran en la figura 11, lo que significa que están dentro de los parámetros de la Norma establecida.

En la Figura 12 se ve el perfil de lámina de agua entre el pozo P3 al vertimiento D1.

**Figura 12 Perfil Colector Sanitario.**



Fuente: Autor

La figura 12 muestra la lámina de agua, sus valores están desde 0.01 m hasta 0.06 m.

## 6 MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL

En este capítulo se presentará la evaluación realizada al sistema pluvial y la definición de cada parámetro de acuerdo con lo establecido por el reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico RAS 2000.

### 6.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

Los parámetros de diseño se definirán siguiendo las recomendaciones dadas en las normas establecidas por el Ministerio de Desarrollo Económico en su documento “Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS-2000)”.

6.1.1 Caudales aguas lluvias. El caudal de evaluación se calculó por el método racional, que se considera adecuado para áreas de drenaje pequeñas hasta de 700 ha. Numéricamente se expresa a través de la Ecuación.

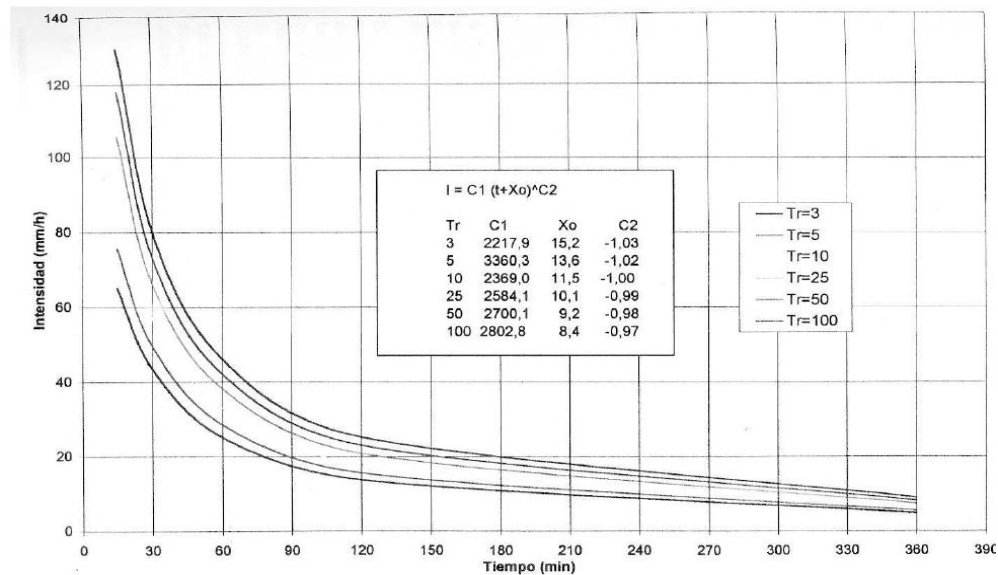
$$Q = 2.78. C. I. A$$

Dónde:

- Q: Caudal pico (L/s)
- C: Coeficiente de escorrentía o fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía, definido según el tipo de superficie que recibe la lluvia.
- i: Intensidad de la lluvia de duración igual al tiempo de concentración de la cuenca de drenaje (l/s ha).
- A: Área de drenaje (ha).

La intensidad de la lluvia se estima a partir de la curva de Identidad - Duración – Frecuencia (IDF) definidas por Hidro-consulta Ltda., en el año 2000 para los municipios de Funza, Mosquera y Madrid, con base en la información de las estaciones aledañas. La curva IDF se presenta en la siguiente ilustración.

**Figura 13 Curvas Intensidad – Frecuencia - Duracion.**



Fuente: Hidro-consulta Ltda., en el año 2000

**6.1.2 Período de retorno.** El periodo de retorno de diseño se define según las características de protección requeridas; la selección se realizará de acuerdo al grado de protección mínimo establecido por el RAS 2000 para el nivel de complejidad medio, tomando como base los valores establecidos en la tabla D.4.2 del RAS 2000 de la siguiente manera (véase la siguiente tabla):

**Tabla 30 Períodos de Retorno Según el Grado de Protección**

CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE DRENAJE	RECOMENDADO (AÑOS)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 ha.	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales con áreas tributarias menores de 2 ha.	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 ha	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores 10 ha	10
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores de 1000 ha*	25
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores de 1000 ha	50

**\*Parte revestida a 10 años, más borde libre a 100 años**

Fuente: RAS-2000

6.1.3 Coeficientes de escorrentía. Los coeficientes de escorrentía, C, serán adoptados según la Tabla D.4.5-RAS2000, se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 31 Coeficientes de Escorrentía**

<b>TIPO DE SUPERFICIE</b>	<b>C</b>
Cubiertas	0.75-0.95
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0.70-0.95
Vías adoquinadas	0.70-0.85
Zonas comerciales o industriales	0.60-0.95
Residencial con casas contiguas, predominio de zonas duras	0.75
Residencial multifamiliar , con bloques contiguos y zonas duras entre éstos	0.60-0.75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0.40-0.60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0.45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques – cementerios	0.30
Laderas sin vegetación	0.60
Laderas con vegetación	0.30
Parques recreacionales	0.20-0.35

Fuente: RAS-2000

## 6.2 MODELO, SIMULACIÓN

De acuerdo a lo mencionado en el capítulo 5.5 “Software EpaSwmm”, igual que el modelo de alcantarillado sanitario, lo primero es realizar el modelo, teniendo en cuenta la topología de la red a proyectar. En este modelo se involucran todos los elementos de la red como Pozos o Nodos, tramos con su respectiva longitud, diámetro asumido, pendiente en%, n manning (0,01 para PVC), caudales por tramos, dependiendo fr las áreas a drenar, su coeficiente de escorrentía, etc.

Con el fin de poder insertar a cada uno de los nodos sus aportes o caudales se hace necesario calcular caudales unitarios por tramo.

6.2.1 Método del bloque alterno. El método de los bloques alternos consiste en que a partir de la definición de una duración total de una tormenta y la definición de duraciones de intervalos dentro de esa duración total, se distribuyen bloques de precipitaciones correspondientes a esas duraciones utilizando las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia, y obteniendo un Hietograma de Diseño.

Para el caso específico del proyecto de Plaza Madrid se analiza la Curva IDF con un periodo de retorno de 3 años, dado que este es el periodo para estructuras de menos de 2 ha a drenar de acuerdo a la RAS y descrito en el numeral 7.1.2 de este mismo documento.

Primero se define el bloque de mayor intensidad correspondiente a la menor duración, el que se ubica al centro, y luego se van determinando bloques de mayores duraciones múltiplos de la menor duración, los que se distribuyen en forma alternada en torno al centro de la tormenta.

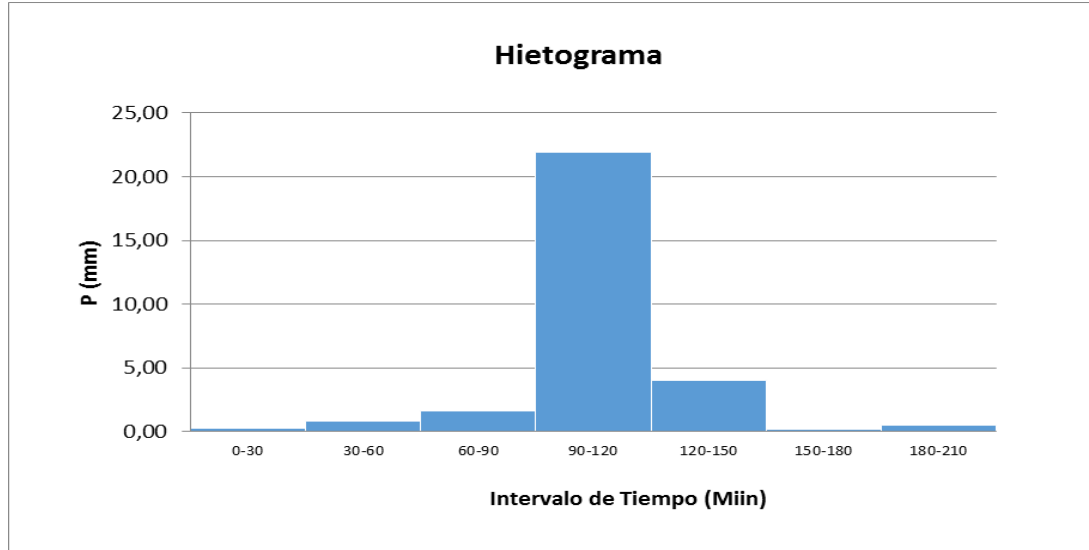
De los valores obtenidos de Intensidad después de aplicar el factor de reducción, se asume que la lluvia se va a distribuir el nueve (3.5) horas con periodos de tiempo de 30 minutos.

**Tabla 32 Valores de Precipitación**

<b>Tiempo (Min)</b>	<b>P (mm)</b>
0 – 30	0.30
30 – 60	0.82
60 - 90	1.59
90 – 120	21.88
120 – 150	4.02
150 – 180	0.20
180 – 210	0.48

Fuente: Autor

**Figura 14 Hietograma.**

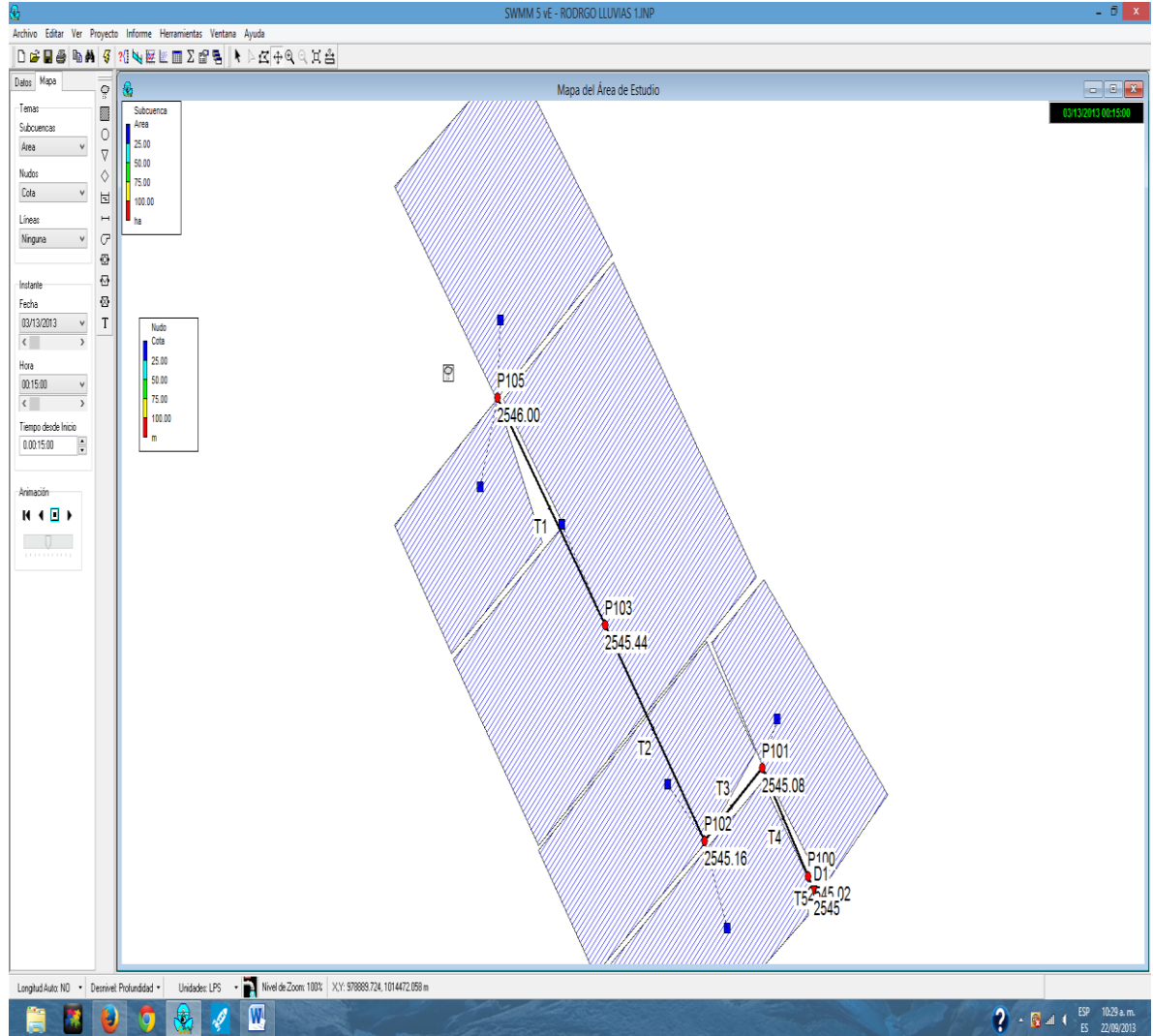


Fuente: Autor

Luego de obtenidos estos valores se insertan como una serie temporal en el modelo de EpaSwmm con el fin de modelar la red proyectada netamente con aguas lluvias. Esta serie temporal ya definida con el Hietograma de Diseño interactúa directamente con el módulo de Hidrología del software como un pluviómetro.

En la Figura No 15 se muestra la configuración de la red, con sus respectivos nodos, tramos, y las sub-cuencas que son las que interpretan como áreas aferentes o áreas de drenaje.

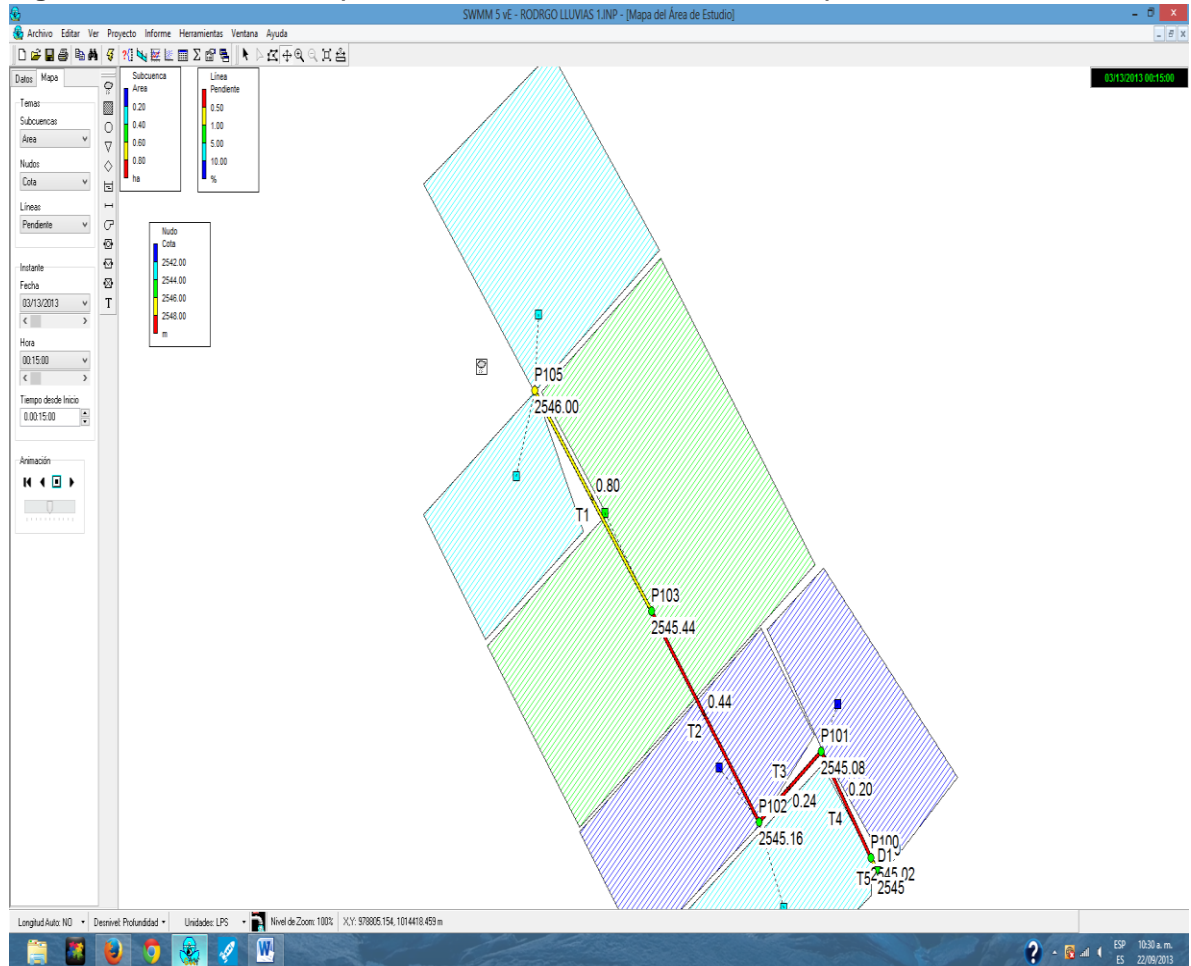
**Figura 15 Modelo Pluvial. (Nodos, Tramos, subcuencas,etc)**



Fuente: Autor



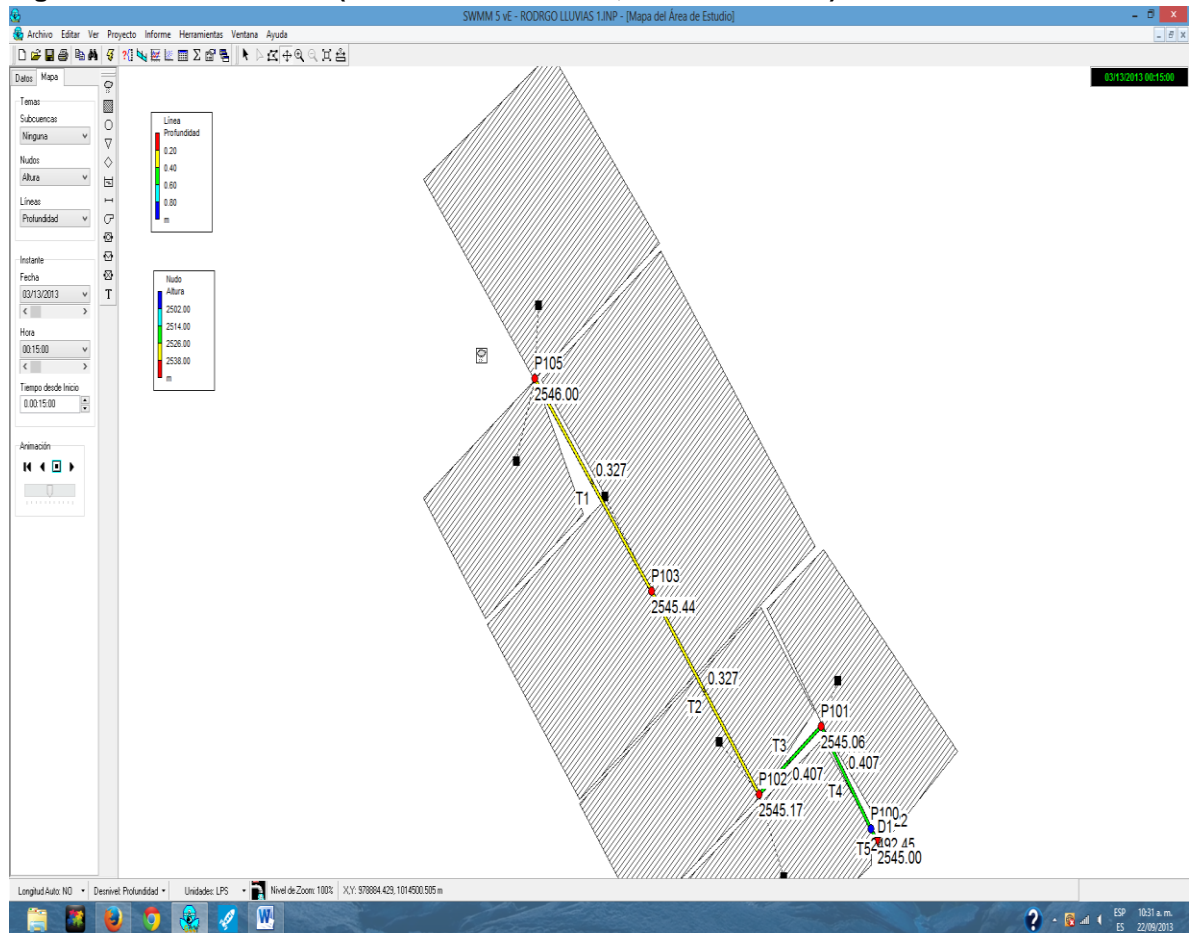
**Figura 16 Modelo Pluvial. (Pendientes, cotas, áreas sub cuencas)**



Fuente: Autor

En la figura 16 se muestra la configuración de la red pluvial, y algunas de sus variables como las pendientes de los conductos las cuales oscilan desde 0.20% a 0.50%, del mismo modo las cotas que corresponden a las alturas de rasante o cota de rasante que dependen de los niveles de la vía, estas están desde 2545 a 2546 msnm. Por ultimo también en esta figura se muestran las áreas de las sub cuencas las cuales corresponden a las áreas a drenar o áreas aferentes.

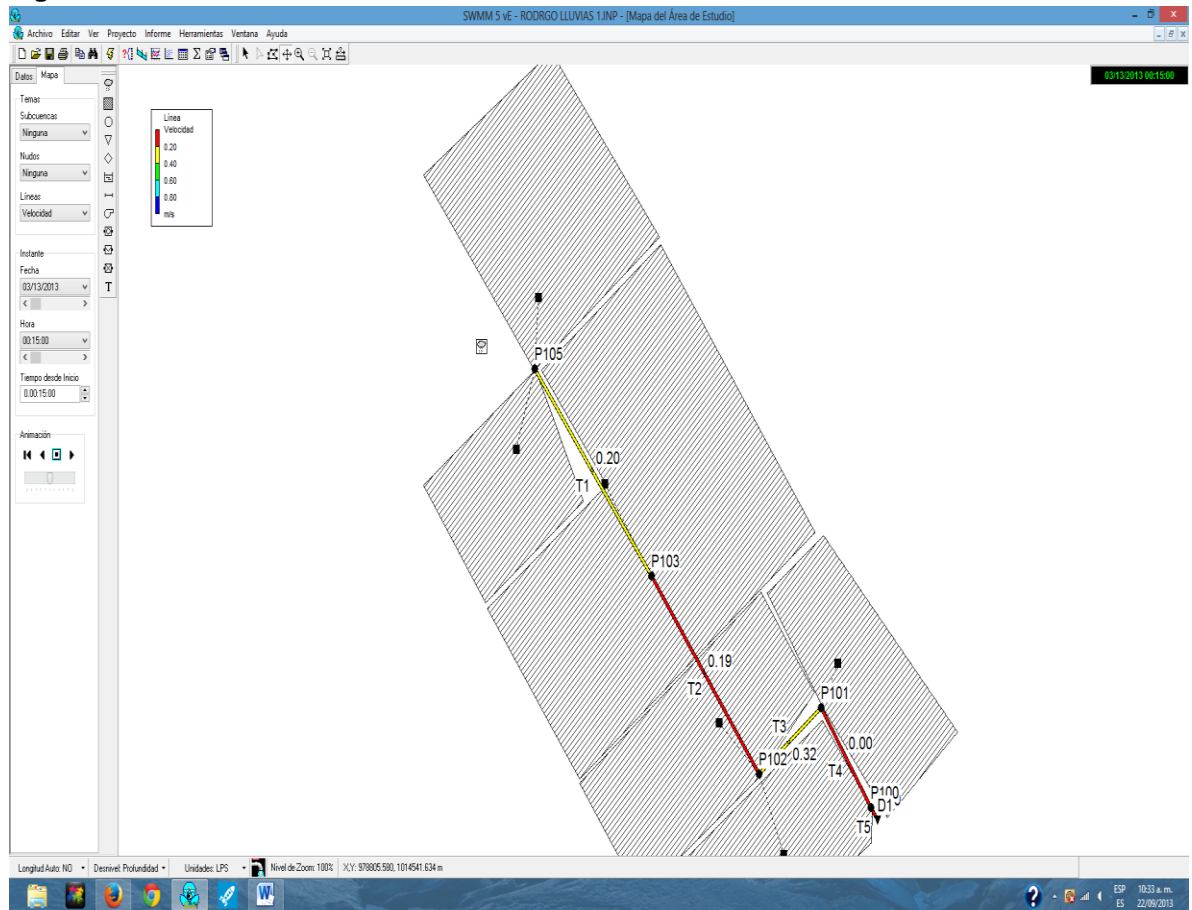
**Figura 17 Modelo Pluvial. (Diámetros colectores, altura de nodos)**



Fuente: Autor

En la figura 17 se muestra la distribución de los diámetros dentro del sistema y la variación de las alturas en cada uno de los pozos la cual define la pendiente en cada tramo.

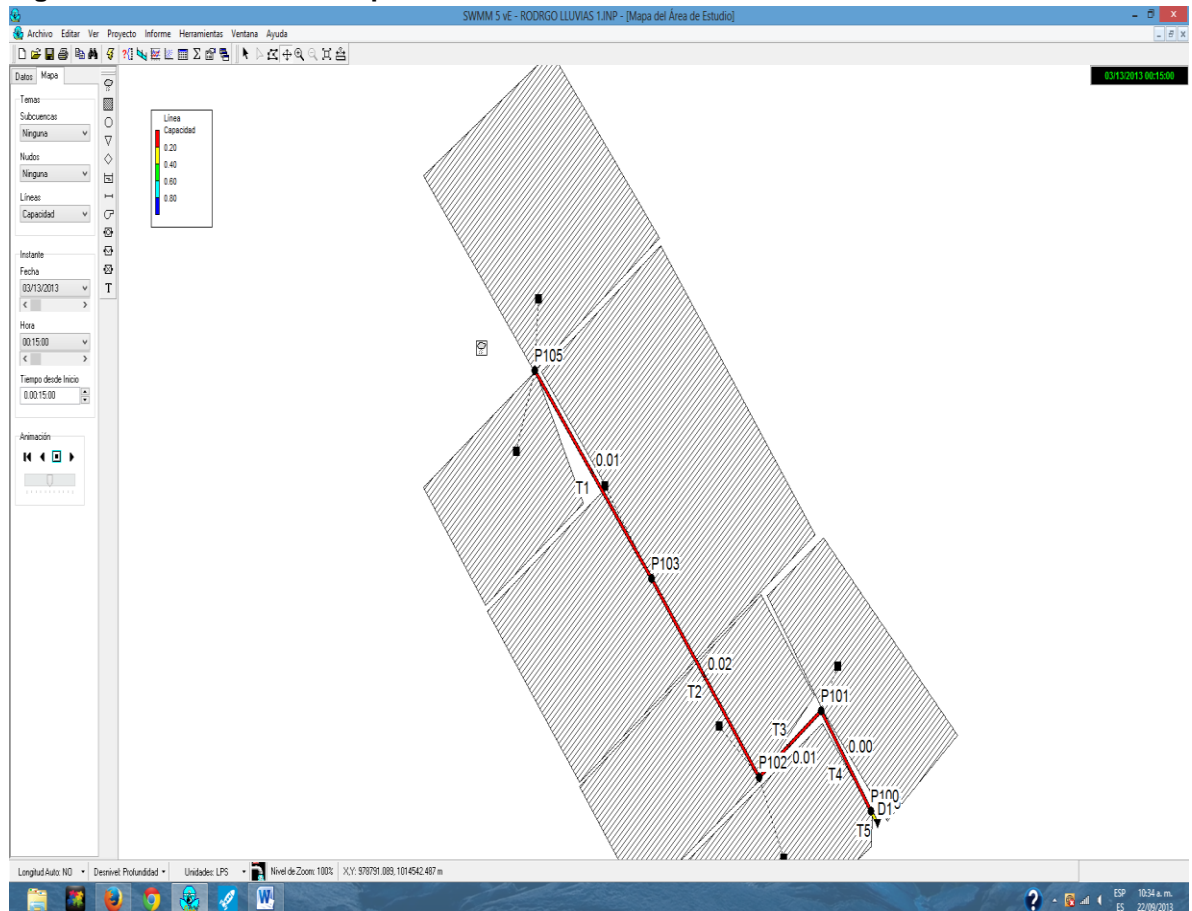
**Figura 18 Modelo Pluvial. Velocidades en los tramos.**



Fuente: Autor

Las velocidades de los tramos oscilan entre 0.36 m/s a 1.8 m/s, las cuales dependen del diámetro y el caudal que ingresa al sistema en cada uno de los tramos.

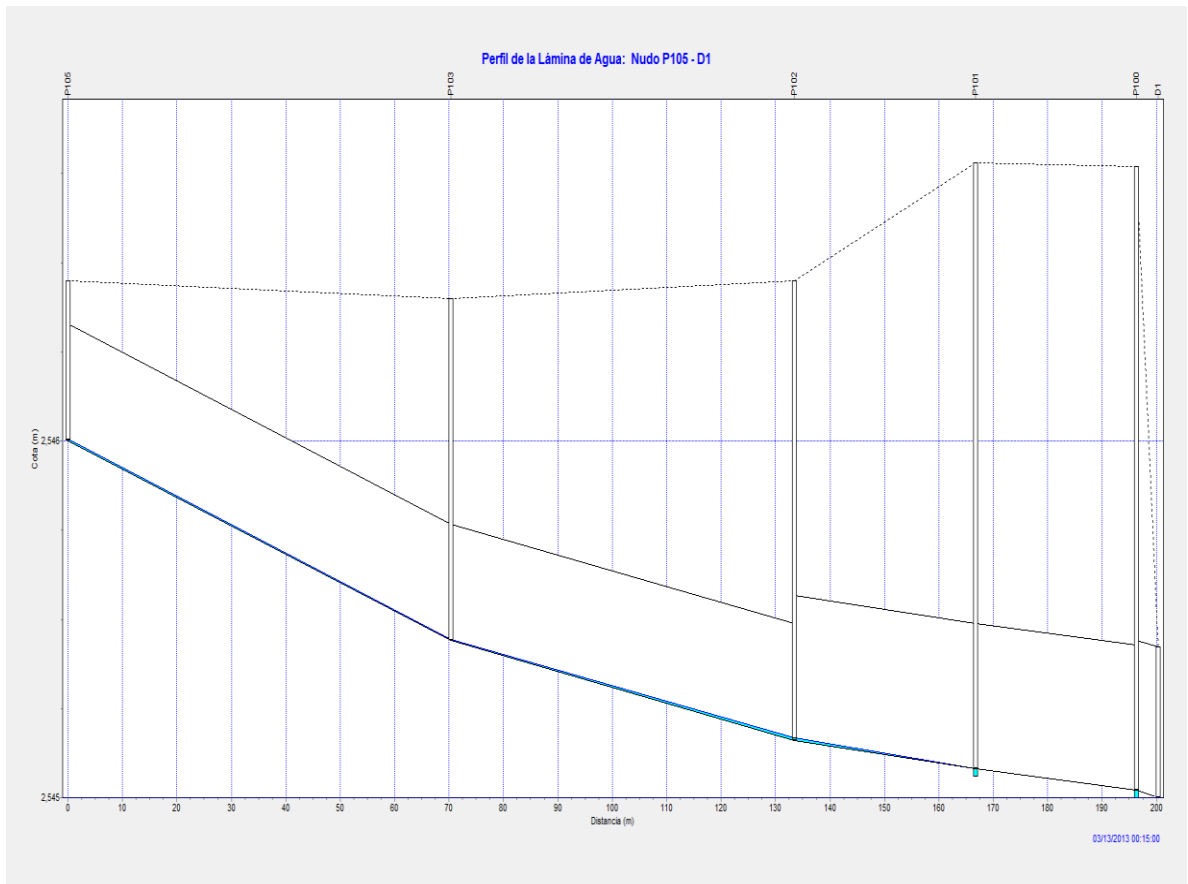
**Figura 19 Modelo Pluvial. Capacidad – Relaciones de Qdis/Qlleno.**



Fuente: Autor

Define la capacidad de la tubería para lo cual se realiza una comparación entre el caudal aportado al sistema y el caudal que puede transportar la tubería de acuerdo a su diámetro y la velocidad, para sistemas pluviales según el RAS este puede trabajar a flujo lleno ( $Q_{dis}/Q_{lleno} = 1$ ). Numeral D.4.3.14

**Figura 20 Modelo Pluvial. (Perfil colector Pluvial)**



Fuente: Autor

En la figura 20 se observa cómo se comporta el flujo dentro del sistema, y los niveles que alcanza en cada tramo, este nos permite observar la manera como se desplaza.

## 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se considera que el programa Epa swmm, software gratis, para la elaboración modelos de alcantarillado, es útil para comportamientos de redes de alcantarillado en los aspectos hidráulicos, hidrológicos, los cuales permiten conocer el comportamiento de las redes desde el inicio hasta el final de la urbanización.

Los diámetros de las tuberías colocados en los modelos de las tuberías corresponden a diámetros lógicos y coherentes para evacuar aguas residuales y aguas lluvias en la futura urbanización. Estos diámetros para aguas residuales están entre 0.184 (8") m a 0.227 (10"), y 0.284m (12") y 0.422m (18") para aguas lluvias.

La utilización de los modelos hidráulicos como el Epa swmm, se hacen cada vez más familiares y de uso común para los usuarios de estos, con un buen grado de confiabilidad en sus resultados de sus modelaciones.

Teniendo en cuenta todos los elementos y variables mencionado en los capítulos 5 "modelación hidráulica de la red de "Modelación hidráulica de la red de alcantarillado sanitario" y 6 "modelación hidráulica de la red de Alcantarillado pluvial", se ha podido validar y verificar que todos los paramentos exigidos por el Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS, en cuanto a los modelos de alcantarillado sanitario y pluvial estén cumpliendo todas las disposiciones allí expuestas

## BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA MUNICIPAL DE MADRID CUNDINAMARCA, 2008. (citado., 2008). Disponible en internet [http://www.planeacion.cundinamarca.gov.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pdm\\_2008\\_2011%20madrid.pdf](http://www.planeacion.cundinamarca.gov.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pdm_2008_2011%20madrid.pdf).

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA 2005. (citado mar. 2013). Disponible en internet: (<http://www.dane.gov.co/>)

LÓPEZ CUALLA, Ricardo A, *Elemento de Diseño para Acueductos y Alcantarillado*, 2da. Edición, Bogotá, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.

Nacional Risk Management Research Laboratory de Estados Unidos. 2009. (citado jun. 2013). Disponible en internet: (<http://www.instagua.upv.es/swmm/>)

PLAN BÁSICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE MADRID. (1999).

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, Bogotá D.C., 2000

Resolución 2320, (2009), Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Resolución Número 2320 del 27 de Noviembre de 2009.

## ANEXOS

### ANEXO A BARRIOS DEL MUNICIPIO DE MADRID (CASCO URBANO)



## **ANEXOS A**

- Gabriel Echavarría
- Lorena
- Escallón (incluye Urb. Oasis de la Sabana)
- Amparito
- Bolonia (incluye Urb. Alameda del Río)
- Alcaparro (incluye Urb. Cedritos)
- Rinconcito
- Provic
- El Molino
- Miguel Velásquez
- Santa Matilde (Urb. Nuevo Milenio, sector Rafael A. Hernández, Urb. Las Delicias I y Las Delicias II)
- Los Ángeles
- San Pedro (Charquito)
- Kennedy
- La Esperanza (Incluye Urb. El Nogal)
- La Española (Incluye Urb Arrayanes)
- Bello Horizonte
- San Pablo
- Cortijo (Parte oriental, conocida como Las Palmas-, incluye Urbanización Bosques de Madrid y el Sector El Cortijo, Urbanización. Chacón)
- El Porvenir
- Primero de Mayo (Etapla II)
- Barranquillita
- La Magnolia (incluye Casas del Sol)
- El Porvenir
- El Pinar
- San Luis (incluye Urb. Sagasuca)
- Serrezuela (Urb. El Tesoro, urb. Prados de Madrid, Las Orquideas)
- La Huerta (incluye casas fiscales)
- Sosiego (incluye Provic 2, Galicia, Virreyes, urb. Puertas del Sol, Punto Madrid, Villas de Serrezuela y Villa Ucrania)
- San Bernardo
- San José (incluye Urb. La Libertad, urb. San Carlos, urb. Villa María)
- Zona Centro (Sector Santa Sofía, Conjunto Residencial Alcalá, Conjunto Residen. Bilbao)
- San Francisco (incluye Urb. El Edén)

- Hermandades (incluye sector El Carmen y San Antonio).
- Lusitania
- La Virgen (incluye Conjunto Res. Camino Real)
- Loreto II (incluye urb. Bosques de Loreto y urb. Puerta de Alcalá)
- La Trinidad
- Urbanización Bulevar (Conocida como Aproxim)
- Casas Grises
- Los Cerezos I
- Loreto I
- El Triunfo
- Los Cerezos II